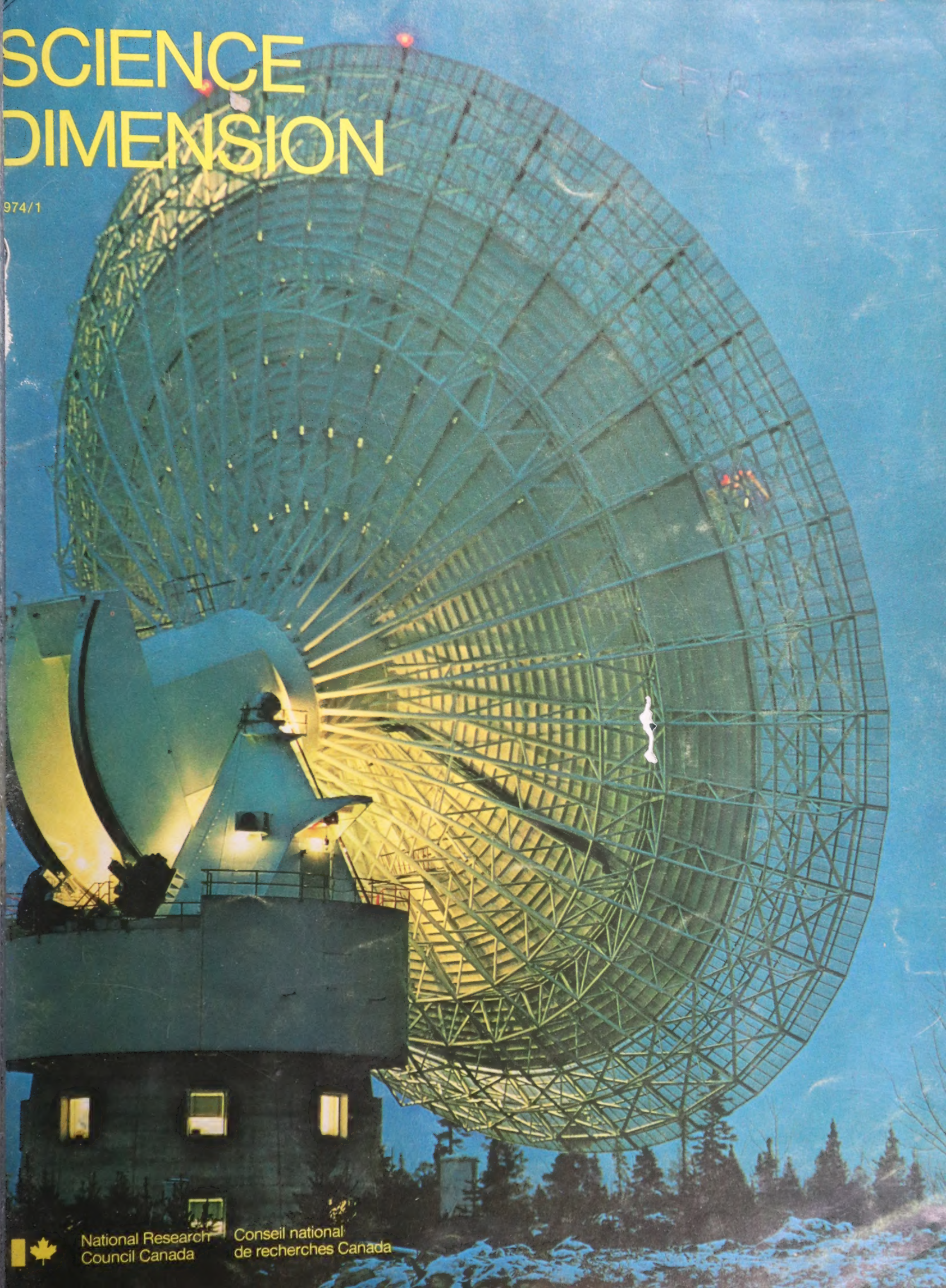


SCIENCE DIMENSION

974/1



National Research
Council Canada

Conseil national
de recherches Canada

SCIENCE DIMENSION

Vol. 6 No. 1, 1974

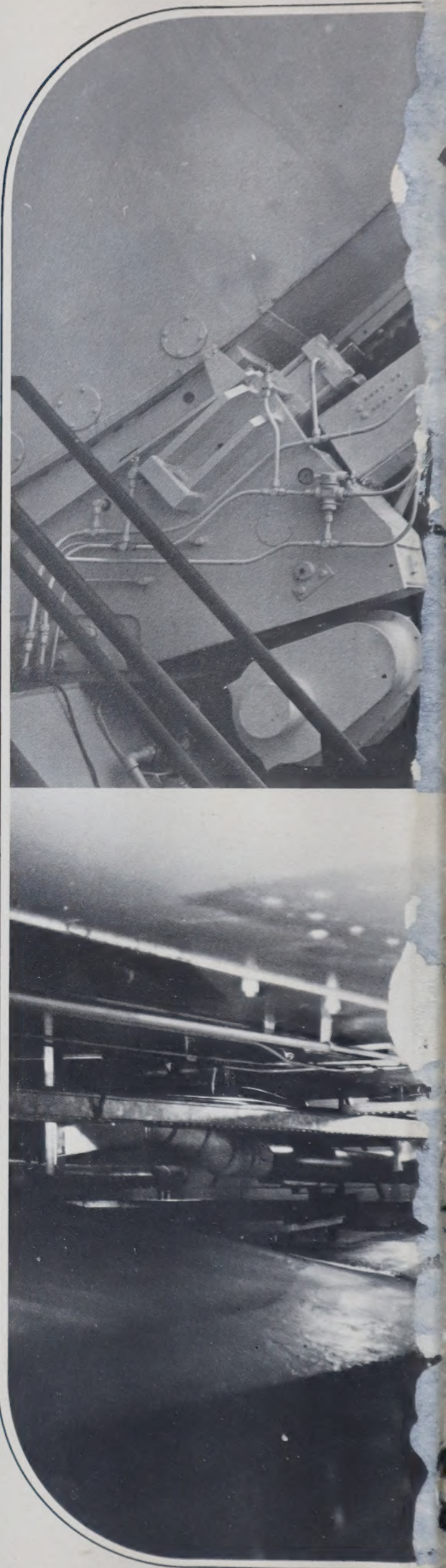
Contents / Sommaire

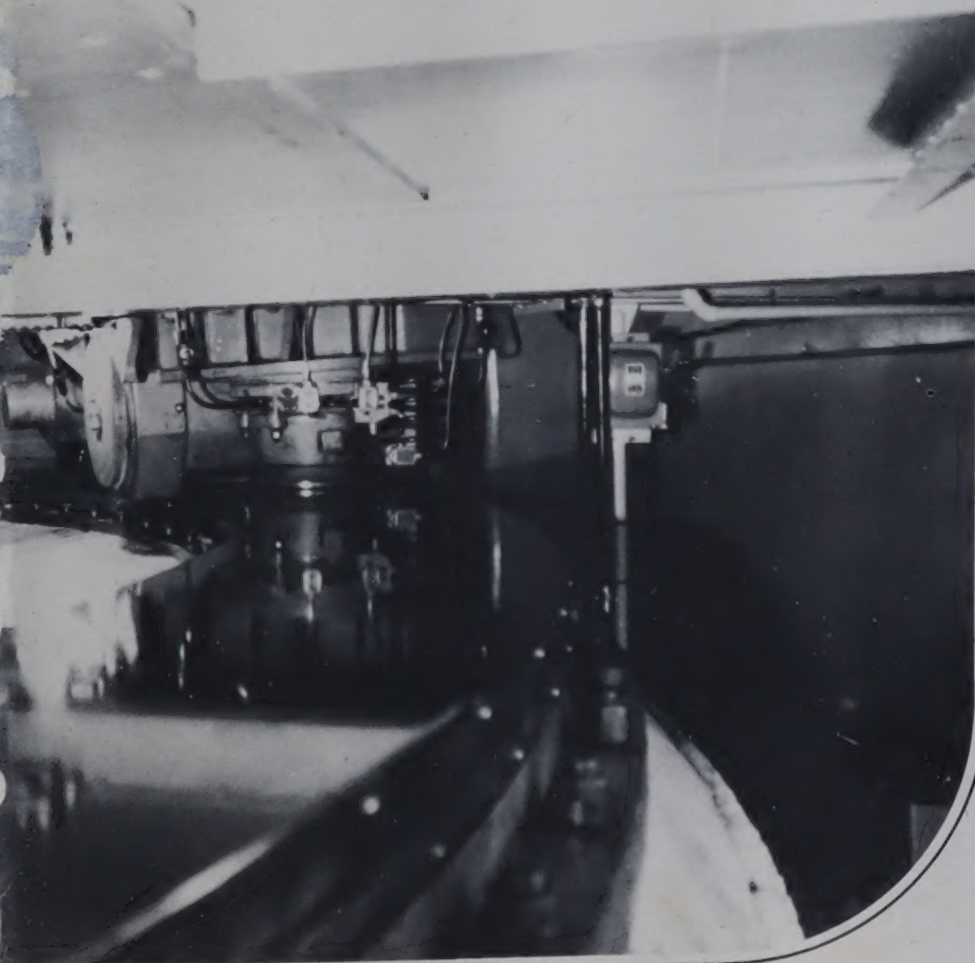
4	Energy cost in transportation Le coût de l'énergie dans les transports	5
10	Splitting seconds with Circap Le dixième de seconde d'arc	11
16	Tribology: million dollar saving to industry La tribologie: des millions de \$ d'économie	17
20	Harnessing plasmas for molybdenum extraction Les plasmas et le molybdène	21
24	New opacity standards Nouvelles normes d'opacité	25
28	Flying Spot Scanner / Analyser Le pulvérisomètre automatique	29

Science Dimension is published six times a year by the Public Information Branch of the National Research Council of Canada. Material herein is the property of the copyright holders. Where this is the National Research Council of Canada, permission is hereby given to reproduce such material providing an NRC credit is indicated. Where another copyright holder is shown, permission for reproduction should be obtained directly from that source. Enquiries should be addressed to: The Editor, Science Dimension, NRC, Ottawa, Ontario, K1A 0R6, Canada. Tel. (613) 993-3041.

La revue Science Dimension est publiée six fois l'an par la Direction de l'information publique du Conseil national de recherches du Canada. Les textes et les illustrations sont sujets aux droits d'auteur. La reproduction des textes, ainsi que des illustrations qui sont la propriété du Conseil, est permise aussi longtemps que mention est faite de leur origine. Lorsqu'un autre détenteur des droits d'auteur est en cause, la permission de reproduire les illustrations doit être obtenue des organismes ou personnes concernés. Pour tous renseignements, s'adresser à la Rédactrice-en-chef, Science Dimension, CNRC, Ottawa, Ontario, K1A 0R6, Canada. Téléphone: (613) 993-3041.

Managing Editor Loris Racine Directeur
Editor Joan Powers Rickerd Rédactrice-en-chef
French Texts Georges Desternes, Claude Devismes Textes français
Graphics-Production Robert Rickerd Arts graphiques-Production
Printed by Mortimer Imprimeur





The two drive systems that accurately position the parabolic dish of NRC's radio telescope shown on the cover. Above: The zenith angle drive rotates the dish through any angle from the horizon to the zenith, the highest point in the heavens above the telescope. Below: The azimuth drive in the tower of the radio telescope used to rotate the parabolic dish horizontally. The dish and its support structure sit on four large rollers, one of which is shown at the right. A hydraulic safety jack also can be seen just above the track surface on the side of the roller. In the event of high winds these jacks (eight in all) come down onto the track, effectively braking the roller movement. • L'antenne parabolique du radiotélescope du CNRC (notre couverture) est mise en mouvement par deux systèmes: (en haut) celui de rotation dans le plan vertical permettant les visées de l'horizon au zénith inclus; (en bas) celui de rotation dans le plan horizontal permettant les visées dans tous les azimuts et comprenant quatre gros galets (l'un est visible à droite) dont le mouvement peut être bloqué par huit vérins hydrauliques pour empêcher l'antenne de tourner sous l'action d'un grand vent (l'un des vérins est visible sur le côté du galet).

A factor to measure travel efficiency—

Energy cost in transportation

When buying a vehicle for transportation, both the private citizen and the business enterprise take the same economic factors into consideration. What is the capital cost involved, how expensive is the license and insurance, what are the maintenance costs, and what mileage per gallon of gasoline can be expected? When various modes of transportation are compared with these factors in mind, they can be arranged on a scale that reflects the total cost of each system. Air and sea travel, with high capital and maintenance costs are at the top of the column, with trains, buses, and automobiles in the intermediate levels and the inexpensive bicycle and motorcycle at the bottom.

While fuel consumption has always been important in the cost calculation, its significance has increased in the 1970's as a result of the rapidly diminishing supplies of hydrocarbon fuels. If, as seems likely, the availability of these fuels eventually becomes the deciding factor in choosing a system of transportation, then information on the energy cost of a

vehicle will largely determine its economic viability.

At the National Research Council of Canada's Division of Mechanical Engineering, Dr. E.P. Cockshutt has utilized a method of comparing the existing systems of transportation on the basis of their efficiency in performing useful work. Using a parameter he calls the Energy Cost, Dr. Cockshutt has provided a very convenient way of putting the relative expenses of a wide variety of systems into perspective. Energy Cost is defined as the ratio of the energy content of the fuel used in transportation to the useful work done, ignoring the other factors that determine total cost. (He points out that transportation "work" [traditionally in ton-miles] is a slight misnomer, since the weight of the body normally acts at right angles to its motion; the energy cost, or rather its inverse, is hence a figure

Fig. 1

Detailed Calculation of the Energy Cost of an Automobile. • Calcul détaillé du coût en énergie d'une automobile.

Fig. 1

$$\begin{array}{lcl} \text{Energy Cost} & = & \frac{0.75 \text{ (lb/gal)} \times 19,000 \text{ (BTU/lb)} \times 778 \text{ (ft-lb/BTU)}}{20 \text{ (mi/gal)} \times 5280 \text{ (ft/mi)} \times 200 \text{ (lb)}} = 5.25 \\ \text{Coût en énergie} & & \frac{10 \text{ (livres/gal)} \times 19,000 \text{ (BTU/livres)} \times 778 \text{ (livres-pieds/BTU)}}{20 \text{ (miles/gal)} \times 5280 \text{ (pieds/mile)} \times 200 \text{ (livres)}} \end{array}$$



De l'énergie à la finesse des véhicules

Le coût de l'énergie dans les transports



MCDONNELL DOUGLAS CORPORATION

Lorsque nous achetons un véhicule, nous tenons compte des mêmes facteurs économiques que les entreprises qui en achètent pour leurs propres affaires. Ces facteurs sont les suivants: le prix d'achat et les coûts de l'immatriculation, de l'assurance, de l'entretien et de la consommation. Il est possible de comparer les différents moyens de transport grâce à une formule de conversion reflétant bien le coût total de chacun de ces moyens. Le transport par air ou par mer est celui qui nécessite l'investissement le plus élevé et l'entretien le plus coûteux; les trains, les autocars et les automobiles se trouvent entre ces transports et la bicyclette et la motocyclette qui sont les moyens de transport les moins coûteux.

Dans l'évaluation des prix de revient on a toujours tenu compte de la consommation, facteur devenu encore plus important ces dernières années du fait que les combustibles fossiles et notamment les dérivés du pétrole se font plus rares et coûtent plus cher. Si, comme il est probable, de se procurer ces combustibles devient de plus en plus difficile, les moyens de transport seront de plus en plus choisis en fonction du coût énergétique.

A la Division de génie mécanique du CNRC, le Dr E.P. Cockshutt a établi une formule permettant de comparer les différents moyens de transport en se basant sur leur rendement. Il utilise un paramètre, appelé "coût en énergie", grâce auquel la comparaison est facile. Ce coût en énergie est défini comme étant le rapport du contenu énergétique du combustible consommé au travail utile obtenu; à noter que le Dr Cockshutt ne tient aucun compte des autres facteurs influençant toutefois les prix de revient. Il fait remarquer que le

travail habituellement exprimé en tonnes-miles prête à confusion dans le cas des transports puisque le poids est généralement perpendiculaire à la trajectoire; en conséquence l'inverse du coût en énergie permet d'attribuer des valeurs numériques pour noter les moyens de transport mais ne représente pas un rendement à proprement parler.

Il nous a dit: "Considérons, par exemple, une personne pesant 200 livres au volant d'une automobile qui aura consommé un gallon d'essence après avoir parcouru 20 miles. Selon notre méthode, le seul travail vraiment utile mesuré en livres-pieds aura été d'avoir transporté cette personne sur 20 miles car le transport de la voiture elle-même ne peut constituer un but en soi. Si le contenu énergétique du combustible est exprimé en livres-pieds plutôt qu'en BTU, le rapport représentant le coût en énergie devient un paramètre sans dimension. Dans l'exemple que nous avons pris, le coût en énergie devient égal à 5.25, c'est-à-dire que pour chaque livre-pieds de transport utile nous devons dépenser plus de 5 livres-pieds d'énergie".

On peut voir, sur la figure 1, les détails du calcul du coût en énergie dans le cas d'une automobile. Si la charge utile augmente, c'est-à-dire si la voiture transporte deux personnes au lieu d'une et que le poids en charge du véhicule n'ait pas beaucoup changé, le coût en énergie a diminué de moitié; si trois personnes se trouvent à bord et que le poids en charge n'a pas encore beaucoup changé, le coût en énergie est environ trois fois plus faible.

La figure 2 résume les coûts en énergie pour le transport des personnes en tenant compte de l'influence de la vitesse

Energy cost

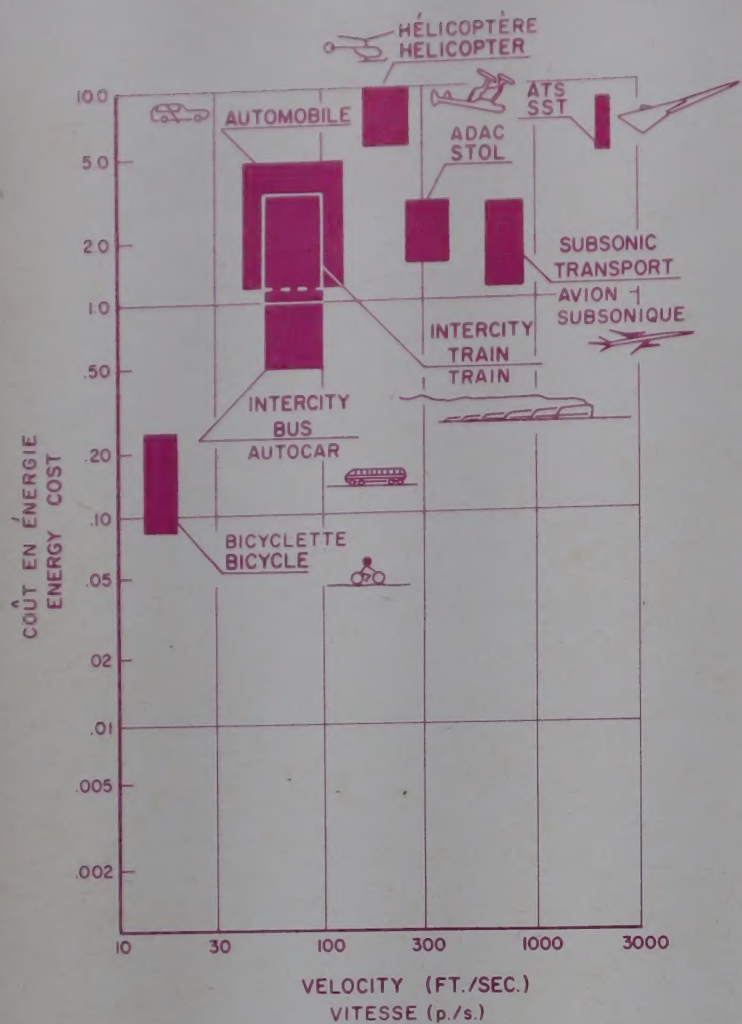


Fig. 2
Energy Costs for Passenger Transportation. • **Coût en énergie pour le transport des passagers.**

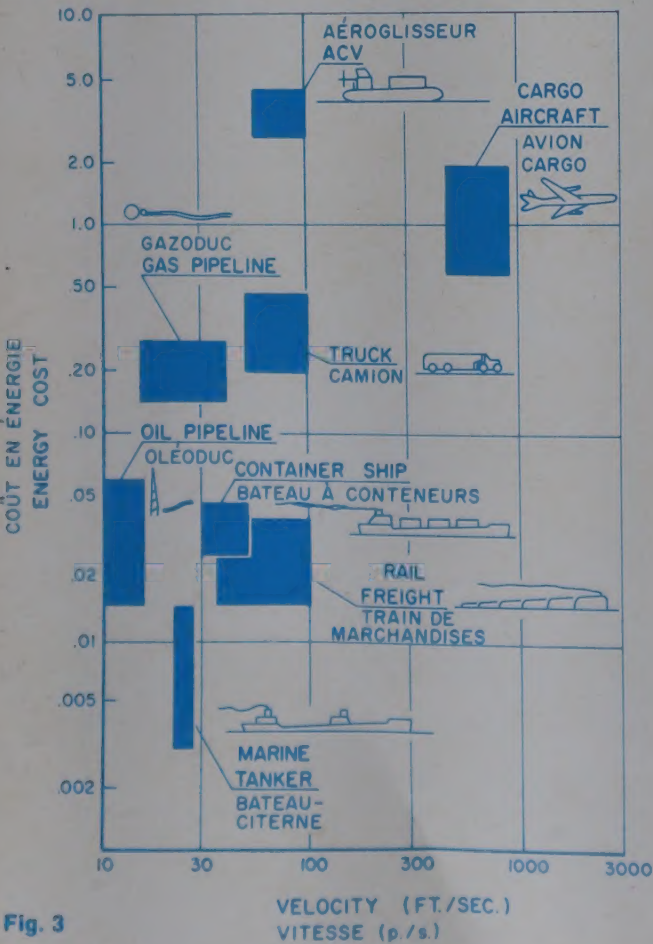


Fig. 3
Energy Costs for Cargo Transportation. • **Coût en énergie pour le transport des marchandises.**

of merit but not strictly of efficiency).

"Consider the example of a 200-pound man who drives a distance of 20 miles in a car that averages 20 miles per gallon of gasoline," says Dr. Cockshutt. "In our treatment, the useful work performed, measured in foot-pound units, will be the transport of the man (the payload) over the 20-mile distance without considering the work necessary in transporting the car. If the energy content of the fuel expended is expressed as foot-pounds rather than the more conventional British Thermal Units (BTU's), the units in the ratio cancel out to give a dimensionless parameter, the Energy Cost. In this example the value of the Energy Cost is 5.25 — in other words for every foot-pound of useful transportation work done, over five foot-pounds of energy are consumed performing the task."

The details of the Energy Cost calculation for the automobile are shown in Figure 1. If the payload is increased, say by carrying another man of about the same weight, then the parameter value is effectively halved; if a third man of the same weight is added the value reduces to about one third, and so on.

A summary of the Energy Costs for passenger transportation as affected by travel velocity is given in Figure 2. Perhaps the most striking fact illustrated by the graph is the relative inefficiency of the car as a means of travel (efficiency decreases from the bottom of the graph to the top). The block representing typical Energy Costs for the automobile embraces a wide range of conditions, and has been drawn for values 1.2 to 5.0 over speeds from 25 to 75 miles per hour. An interesting comparison from an energy conservation point of view is between automobiles and current subsonic aircraft such as DC-8's, DC-9's, and 747's. These aircraft actually are an improvement over an automobile's Energy Costs with values ranging from 1.5 to 2.5, and they do so at velocities almost ten times higher than the automobile. Even the controversial supersonic transport aircraft (SST), operating at an Energy Cost of about seven compares favorably with the automobile. The intercity bus shows an improvement over the automobile by three or four fold, and the bicycle at the bottom of the graph is more efficient than the car by a factor as high as 50.

A similar graph for cargo transportation systems is shown in Figure 3. The Energy Cost values descend from high speed vehicles like the hovercraft (ACV) and cargo aircraft through trucks, pipelines and trains to the marine tanker, the most efficient means of transport available in terms of the energy used-work done ratio.

In comparing Figures 2 and 3 it can be seen that passenger transport systems have Energy Cost values that are much higher than the cargo systems. However, they also travel, on the average, at velocities far greater than cargo carriers. To better appreciate why a given transport system achieves a particular Energy Cost value, it is necessary to examine in detail the steps involved in going from fuel input to work done.

"The Energy Cost of a transportation system has three distinct components," explains Dr. Cockshutt. "These are: the thermopropulsive efficiency of the power plant, the frictional resistance of the vehicle, and the structural efficiency or ratio of payload to vehicle weight."

"Consider first the thermopropulsive efficiency," continues Dr. Cockshutt. "This can be described as the efficiency of the engine in turning input fuel into thrust, or forward urge. There is remarkably little difference in various drive systems in this

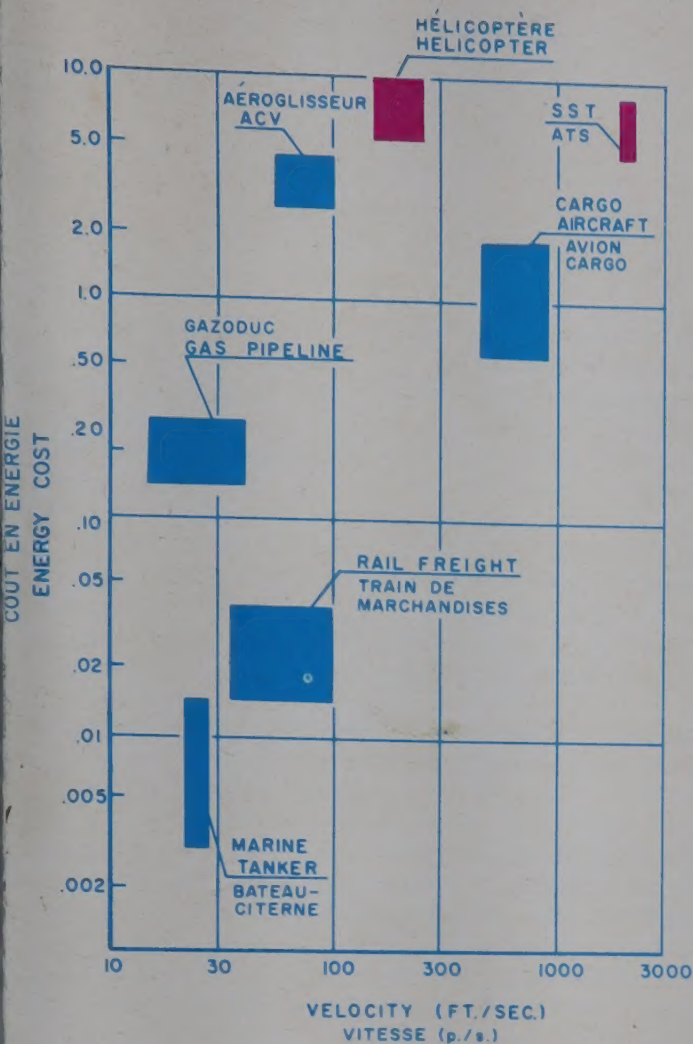


Fig. 4
Energy Cost Summary. • Coût en énergie (résumé).



moyenne du véhicule. Ce qui frappe le plus peut-être au premier abord, c'est que l'automobile telle que nous la connaissons est relativement peu efficace et l'on peut remarquer que l'efficacité diminue en allant du bas de cette figure vers le haut. Le rectangle représentant le coût en énergie de l'automobile servant dans des conditions très variées a été tracé pour des valeurs du coût en énergie de 1.2 à 5 et des vitesses de 25 à 75 miles à l'heure. Il est intéressant de comparer, du point de vue de la conservation de l'énergie, les automobiles aux avions subsoniques comme les DC-8, DC-9 et Boeing 747. On peut voir que ces avions sont supérieurs à l'automobile si le coût en énergie va de 1.5 à 2.5; de plus, il faut remarquer que les vitesses des avions sont presque 10 fois supérieures à celle de l'automobile. Même l'avion de transport supersonique peut être comparé favorablement à l'automobile pour un coût en énergie d'environ 7. Le coût en énergie du transport interurbain par autocar est trois à quatre fois inférieur à celui de l'automobile et celui de la bicyclette, tout à fait en bas de la figure, peut même être cinquante fois moindre.

La figure 3 représente la même comparaison dans le cas des marchandises. Le coût en énergie est de plus en plus bas au fur et à mesure que l'on passe successivement des aéroglisseurs aux avions, aux camions, aux pipe-lines, aux trains et enfin aux bateaux-citernes. Ces derniers ont le meilleur rendement.

Si l'on compare les figures 2 et 3, on remarque que le transport des personnes coûte beaucoup plus en énergie que celui des marchandises. Il est vrai que les vitesses sont aussi beaucoup plus élevées. Pour mieux apprécier ce qui détermine le coût en énergie, il est nécessaire d'examiner en détail ce qui se passe lorsque l'on passe du remplissage des réservoirs au travail utile. Le Dr Cockshutt nous a dit: "Le coût en énergie d'un moyen de transport comprend trois composantes: le rendement thermopropulsif du moteur, la résistance de frottement du véhicule et le rendement structural, c'est-à-dire le rapport entre le poids de la charge utile à celui du véhicule qui la transporte".

"Considérons d'abord le rendement thermopropulsif. On peut le "visualiser" en comparant la quantité de combustible consommé pour une poussée donnée. Sous ce rapport, il y a très peu de différence entre les différents types de propulsion. Le turboréacteur a le meilleur rendement surtout parce qu'il a été calculé pour avoir un rendement optimum à la vitesse de croisière. Même les puissants moteurs, comme ceux de l'avion de transport supersonique, équipés de la reheats ont encore un très bon rendement en croisière. A l'autre extrême, le cycliste est encore très concurrentiel par rapport au moteur à combustion si l'on se base sur son absorption d'énergie exprimée en calories au cours d'une journée à bicyclette".

"Seul l'aéroglisseur et l'hélicoptère sont relativement inefficaces car une grande partie du combustible est utilisée pour la sustentation sans toutefois contribuer à la propulsion".

La deuxième composante du coût en énergie est la résistance de frottement. Les ingénieurs l'expriment habituellement sous la forme d'un rapport de la portance à la traînée, appelé également "finesse" en aéronautique, et qui représente la valeur aérodynamique du véhicule. On peut considérer que la portance représente la partie utile de la combustion mais qu'il faut payer cet avantage en acceptant que l'autre partie du combustible soit brûlée pour faire naître la poussée compensant la traînée, c'est-à-dire la résistance de frottement;

respect. The jet engine surprisingly turns out to be one of the most efficient propulsive systems, primarily because of a very careful matching of its cycle to the operating conditions of the aircraft it propels. Even after-burning aircraft like the SST turn out to be very efficient in their speed range. The cyclist, based on his caloric intake during a cycling day, is quite competitive with the combustion engine.

"Only the vehicles incorporating levitation, such as the hovercraft or the helicopter, show disappointing efficiencies; here much of the power is required for support of the vehicle and does not contribute to the forward propulsion."

The second component of Energy Cost cited by Dr. Cockshutt is the frictional resistance that the vehicle encounters during travel. Engineers normally express this in a term called the Lift/ Drag (L/D) ratio which describes the aerodynamic or frictional cleanliness of the vehicle. Since this ratio is the inverse of the frictional resistance, the higher a vehicle's L/D value, the cleaner or more friction-free is its movement, and the smaller is the Energy Cost parameter.

For any given vehicle, on land, sea or in the air, an increase in velocity results in an increase in frictional resistance, with a proportionate decrease in the L/D ratio. If the velocity is increased by a factor of two, the frictional resistance is increased by a factor of up to four, depending on the frictional mechanisms involved.

"The L/D ratios for the automobile and subsonic aircraft are about the same, falling into the range between 15 and 20," says Dr. Cockshutt. "This gives some idea of the much greater frictional cleanliness of an airplane, since it travels about ten times as fast as a car. The box car in a freight train has a Lift/ Drag value of about 250. The reason for this excellent value is the low drag of the box car's steel wheels on smooth rails and the aerodynamic efficiency of the system (only the first car of the normally-long freight train encounters high air resistance). The marine tanker, because of the fact that so little surface is in contact with the environment through which it moves, has one of the best L/D ratios, with values from 1,000 to 1,800. For every ton of gross weight, there is only one to two pounds of frictional resistance when it moves along at 15 knots (25 feet per second)."

Dr. Cockshutt's attention also has been directed at the cost of transmitting energy itself. Oil and gas pipelines have been shown to have L/D ratios of about 190 and 40 respectively, the lower figure for gas resulting from the much higher velocity of transmission normally used. Unfortunately pipes cannot be built conveniently with diameters greater than four feet, which creates a problem since the drag in the system is caused by the "scrubbing" friction of the fuel passing over the inner walls.

"Pipelines typically consist of a number of smaller units laid in parallel," says Dr. Cockshutt.

"The Trans-Canada Pipeline is, in effect, a river of natural gas flowing from Alberta to Ontario. Ten per cent of the fuel entering the system never gets to the other end; it is used in the pumps that keep the fuel moving. The way to conserve on transmission energy is to increase the number of pipes operating in parallel and, if possible, decrease the flow velocity of the fuel by operating at a higher pressure."

The third component of Energy Cost is the structural efficiency of the transporting system, the ratio of the payload to the total weight transported. Pipelines operate at 100 per cent efficiency in this regard, since nothing but payload moves through the pipe. The low Energy Costs of the marine tanker

and the box car stem to a considerable degree from their high ratios of payload to total weight. On the other hand, the principal reason for the high Energy Costs of the automobile is the low structural efficiency of the system; passengers weighing a few hundred pounds are transported in a vehicle weighing about two tons.

With aircraft there is a tradeoff between the payload and the amount of fuel carried. On long overseas flights where large amounts of fuel are necessary, there is a pronounced reduction in structural efficiency compared to the shorter stage domestic runs. This is reflected in the fact that the short stage DC-9 can show lower Energy Costs than the long-range 747 jumbo jet.

"A suggested alternative to pipelines and tankers in the removal of the northern slope Alaskan oil is a fleet of huge aircraft," says Dr. Cockshutt. "Boeing has prepared a design proposal for such a craft, called the RC1 Resource Carrier. It would weigh about three and a half million pounds fully loaded, be well over the length of a football field, and be propelled by 12 of the most powerful jet engines ever built. These large dimensions allow the aircraft to carry huge payloads of oil (up to 65 per cent of the weight can be oil) giving a structural efficiency that lowers the Energy Cost to a level of eminent respectability."

Dr. Cockshutt emphasizes that it would be a mistake to assume that Energy Cost is the only factor to consider when deciding on a method of transportation.

"The hovercraft may well be inefficient," he says, "but there are some terrains such as tundra or ice-strewn waters where it is the most practical means of travel. In the long run it may be more economical to operate these vehicles in sparsely-populated areas than to build expensive airfields or road beds that might be obsolete a few years later. The SST is another case in point. Although in the short term of our energy crisis the plane's high fuel consumption may seem immoral, nonetheless it is an enormously productive aircraft. Because of its high speeds it may make two or three times as many flights as subsonic aircraft over the same time span. It therefore would be incorrect to assume that a system that is expensive in terms of Energy Cost is inherently bad or uneconomic."

Figure 4 recapitulates some of the lowest cost systems, along with some that are more expensive. The best systems lie on the diagonal sloping upward from the right, from the marine tanker moving at 25 feet per second to the supersonic transport moving at 2,000 feet per second. In increasing the speed by a factor of 100, the Energy Cost increases by a factor of 1,000.

What price speed? Dr. Cockshutt avers that his criteria of energy costs do not per se give any credit for speed.

"It is very difficult to put a value on speed," he says. "As the graph clearly shows, if speed is not needed to transport payloads, then in terms of the Energy Costs, it is better to move more slowly. While speed is not necessary in cargo transportation, people obviously place great value on reduced travel times. One of the salient points of the study is that in terms of Energy Cost and the comparison of current planes and cars, one gets the airplane speed for nothing. Because the value that passengers place on speed lies outside these energy considerations, it is difficult to include it in a criterion of excellence. However, for the vast majority of transportation activities, a minimum speed consistent with the product transported will lead to significant energy conservation." □ Wayne Campbell

... la finesse des véhicules

il s'ensuit que plus la finesse est grande, plus le moyen de transport est efficace et plus le coût en énergie est faible.

Pour tout véhicule, qu'il se déplace dans les airs ou sur l'eau, une augmentation de vitesse signifie une augmentation de la résistance de frottement et si la vitesse est 2 fois plus grande la résistance de frottement devient 4 fois plus élevée environ suivant le type de frottement.

Le Dr Cockshutt a ajouté: "Cette finesse est sensiblement la même pour l'avion subsonique et pour l'automobile dans la gamme allant de 15 à 20. On peut se faire ainsi une idée de la finesse réelle d'un avion puisque ce véhicule se déplace environ 10 fois plus vite que l'automobile. Le wagon de marchandises a une finesse d'environ 250. Cette valeur est fort élevée en raison du fait que le frottement des roues sur les rails est très faible et que le rendement aérodynamique est excellent car, en fait, seule la locomotive doit vaincre une résistance aérodynamique. Le bateauciterne est un des véhicules les plus "fins" du fait que les surfaces en contact avec l'eau sont relativement faibles par rapport aux grandes masses transportées; sa finesse va de 1 000 à 1 800. Pour chaque tonne de véhicule en charge, la résistance de frottement n'est que de une à deux livres à une vitesse de 15 noeuds (25 pieds par seconde).

Le Dr Cockshutt a également étudié le problème de l'énergie nécessaire pour transporter des fluides par pipe-lines c'est-à-dire, notamment, du pétrole et du gaz. Ces pipe-lines ont l'équivalent d'une "finesse" de 190 et de 40 respectivement; ce dernier chiffre est plus faible parce que le transport du gaz doit se faire à une vitesse beaucoup plus élevée, ce qui augmente le frottement et le coût en énergie. On pourrait réduire le frottement en utilisant des pipe-lines de plus grand diamètre c'est-à-dire de plus de quatre pieds mais, malheureusement, leur fabrication et leur installation posent des problèmes formidables.

"C'est la raison pour laquelle les pipe-lines sont constitués d'éléments plus petits montés en parallèle", nous a dit le Dr Cockshutt.

Le gaz naturel s'écoulant dans le pipe-line transcanadien se comporte en fait comme un liquide qui s'écoulerait dans des canalisations de l'Alberta à l'Ontario. On a calculé que 10% du combustible entrant dans le pipe-line en Alberta n'arrive jamais à destination dans l'Ontario car son énergie est utilisée pour faire fonctionner les pompes assurant l'écoulement. "Un des moyens d'économiser l'énergie nécessaire au transport du combustible est de diminuer la vitesse de l'écoulement ce qui signifie, pour un même débit, d'augmenter le nombre de canalisations", a ajouté le Dr Cockshutt.

La troisième composante du coût en énergie est le rendement structural du moyen de transport, c'est-à-dire le rapport de la charge utile au poids total mis en mouvement. Les pipe-lines ont donc un rendement structural de 100% puisqu'ils sont immobiles. Le faible coût en énergie des transports par bateaux-citernes et par wagons-citernes résulte, dans une large mesure, du rapport élevé de la charge utile au poids total. Le coût en énergie de l'automobile est élevé pour la même raison car on met en mouvement environ deux tonnes de véhicule pour ne transporter que des passagers ne pesant que quelques centaines de livres.

En aviation, pour un type d'avion donné la charge utile varie en fonction inverse de la distance à parcourir c'est-à-dire du combustible à emporter. Pour les avions transatlantiques qui

emportent des masses considérables de combustible le rendement structural est moindre que celui des avions assurant des liaisons intérieures de courte distance. Ainsi le DC-9, moyen courrier, a un coût en énergie inférieur à celui du long courrier Boeing 747.

Le Dr Cockshutt nous a dit: "On a envisagé de transporter le pétrole du nord de l'Alaska en se servant d'énormes avions cargo au lieu de bateaux-citernes et de pipe-lines. Boeing a étudié cet avion, le "RC1", c'est-à-dire le transporteur de richesses naturelles No 1. Son poids en charge serait d'environ 3.5 millions de livres, sa longueur supérieure à celle d'un terrain de football et il serait propulsé par douze réacteurs de puissance supérieure à tout ce que nous connaissons. Ces grandes dimensions permettraient le transport d'énormes quantités de pétrole; le poids de ce pétrole pourrait représenter 65% du poids en charge ce qui donnerait un rendement structural permettant d'abaisser le coût en énergie à un niveau rentable".

Le Dr Cockshutt souligne que ce serait une erreur de considérer que le coût en énergie est le seul facteur dont il faut tenir compte pour choisir un moyen de transport. "En effet", dit-il, "l'aéroglesseur peut ne pas être rentable mais il existe certains terrains comme la toundra ou les eaux encombrées de glaces où il est le moyen de transport le plus approprié. En effet, il peut être plus économique d'utiliser ces véhicules dans les régions peu peuplées que de construire des aéroports coûteux et des routes qui pourraient être très vite dépassés. L'avion de transport supersonique est un autre exemple car malgré son énorme consommation horaire qui semble être proche du gaspillage à notre époque, cet avion n'en demeure pas moins un appareil énormément productif. Grâce à sa vitesse élevée il peut faire deux à trois fois le même trajet que les avions subsoniques pendant le même temps. Ce serait par conséquent une erreur de supposer que si un moyen de transport est coûteux sur le plan énergétique il est automatiquement mauvais ou pas rentable", nous a encore dit le Dr Cockshutt.

Grâce à la figure 3 on peut comparer quelques-uns des moyens les moins coûteux avec quelques-uns des plus coûteux. Les meilleurs se trouvent sur la droite inclinée à 45° environ et comprenant les points donnés par le bateau-citerne se déplaçant à 25 pieds par seconde et, à l'autre extrémité, le transport supersonique volant à 2 000 pieds par seconde. En multipliant la vitesse par 100, le coût en énergie est multiplié par 1 000.

Quel est le prix de la vitesse? Le Dr Cockshutt reconnaît que son critère de coût en énergie ne donne pas à proprement parler un avantage à la vitesse car, dit-il, "Il est très difficile d'évaluer l'importance de la vitesse."

"Comme le montre la figure, s'il n'est pas nécessaire de transporter rapidement des charges utiles, mieux vaut se contenter de vitesses faibles avantageuses du point de vue énergétique. Toutefois, il est toujours intéressant de réduire la durée des transports. Un des points que l'étude fait ressortir est que la vitesse de l'avion habituel est gratuite si on la compare à celle de l'automobile. Ces considérations basées sur le coût en énergie ne tiennent pas compte de la valeur que les passagers attachent à la vitesse, raison pour laquelle il est difficile de l'inclure dans un critère d'excellence. Toutefois, dans la grande majorité des cas, une vitesse minimum en rapport avec le produit transporté permettra d'économiser une quantité appréciable d'énergie".

A novel method for measuring angle

A capacitor is a device that stores electric charge, falling into the same category as resistors, voltmeters and other devices connected with electrical circuitry. A protractor, on the other hand, is a device used to measure and lay down angles, and is normally associated with geometrical measurement. On first consideration, any connection between these two very different instruments, particularly one as unrelated as using a capacitor to measure angles, would seem to stretch the imagination to the limits of credulity. However, this imaginative linking of apparently far-removed concepts has resulted in CIRCAP (Circular Capacitor), a new instrument for precision measurements of angle.

Dr. David Makow of the Photogrammetric Research Section of the National Research Council of Canada's Division of Physics had originally developed an instrument for the precise measurement of length (LINCAP) and reasoned that the same principle could be used for angular measurement. The principle underlying the LINCAP, and ultimately the CIRCAP, is based on an extremely stable, self-compensating capacitor.

The simplest type of capacitor consists of two parallel, conducting plates separated from each other by an insulator; this insulator can be air, a vacuum, or any other non-conducting dielectric material. If the two electrodes (the plates) are connected to a battery, they will become charged, one positive and the other negative. Disconnect the plates from the battery and bridge them with a copper wire, and electrons will flow from the negative to the positive plate until the capacitor discharges. If a capacitor is placed in a direct current circuit, it blocks the current flow since the dielectric material sandwiched between the plates is not a conductor; flux lines reflecting the strength of the electric field are nonetheless present across the

dielectric. If the current is alternating, the capacitor can charge and discharge at the frequency of the applied current which will flow in the circuit. The capacitor acts like a resistor in a direct current circuit and there is a voltage drop across the capacitor.

A capacitor's ability to store charge is called its capacitance (C), a unit that depends upon the dielectric, the area of the conducting plates and their distance of separation. If the area is increased or the separation distance decreased, the capacitance increases; the reverse of these changes causes the capacitance to decrease. For a given capacitor, the maintenance of a stable capacitance will depend crucially on the stability of the dimensions. If they change, even fractionally, the capacitance will change as well. Historically then, the effort to provide a standard of capacitance has been related to the construction of a capacitor with stable dimensions. Since all materials are affected to varying degrees by changes in temperature and humidity, as well as internal stress relaxation, achieving dimensional stability has been a problem.

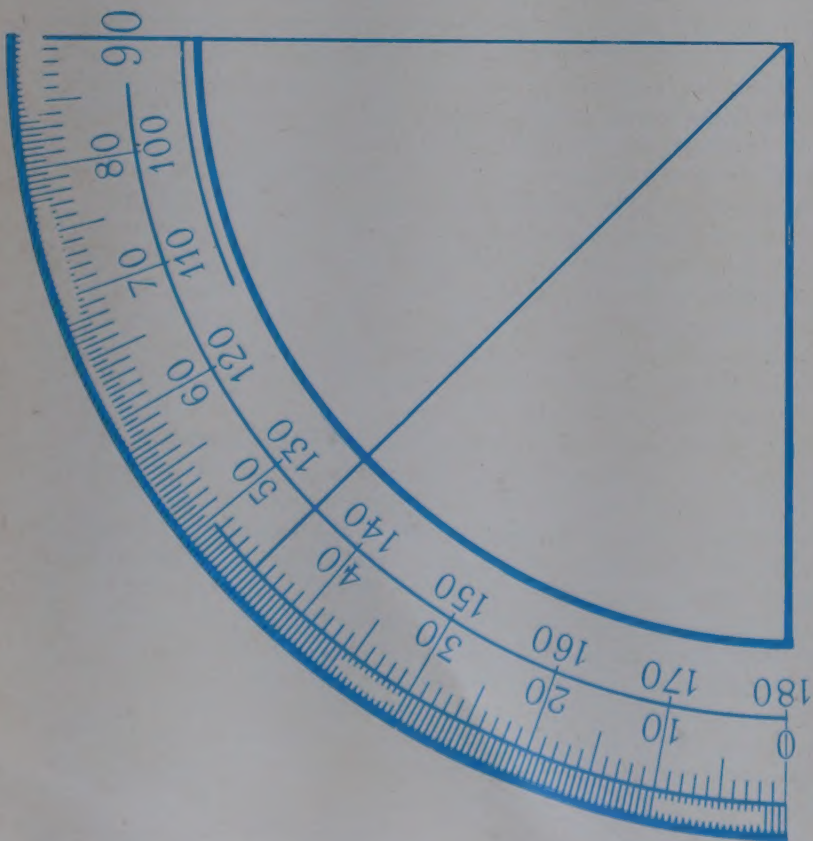
Because an invariant capacitance is important to Dr. Makow's concept for measuring angle, he first needed a stable capacitor. He achieved this by using an electrode configuration in which *the value of capacitance is maintained by the structure's inherent self-compensation to dimensional change.*

Basically this unique capacitor consists of four toroids (circular rings) arranged in pairs and concentric about an internal vertical axis. (Figure 1). Originally made of quartz coated with conductive aluminum, the toroids also can be made from metal coated with gold to prevent corrosion. The capacitor electrodes are represented by diagonally opposite toroids, a-b or c-d; in other words, the structure actually consists of two capacitors. At any given time, one pair of diagonally-opposite toroids form the capacitor while the other pair are grounded, serving as guard electrodes. By simply switching the electrical leads, the capacitor and guard toroids can be interchanged. The capacitance of the structure will not only depend on the distance between the diagonally-opposite toroids, but also on the opening through which the toroids can "see" each other.

"It is this configuration that contributes to the very special properties of the system," explains Dr. Makow. "Although neither one of the diagonal capacitors is particularly constant the mean value of the two remains very stable, and largely independent of dimensional change."

The self-compensating nature of the system results in a constant value for the mean capacitance.

"Suppose," says Dr. Makow, "that the toroid 'C' in Figure 1 has been machined with a slightly smaller diameter, or is disturbed in some manner and moves upward. The capacitance will then decrease for this pair since the separation distance has increased. When this occurs, however, the opening through which the other set of toroids can "see" each other increases, with a consequent increase in capacitance. Thus a decrease in one set leads to a commensurate increase in the other, and the sum or mean capacitance of the system remains almost unchanged. Another important instance of self-compensating change occurs when one or other of the toroids is moved sideways from its position of concentricity with the vertical axis. For one half of the toroid the separation with its diagonal will increase, while for the other half it will decrease, thus affecting the capacitance of the diagonal capacitor very little. A change in dimension of



Le dixième de seconde d'arc!

Le CIRCAP

Un condensateur, ou capacité, permet d'accumuler de l'électricité et, de ce fait, se place parmi les appareils électriques comme les résistances et les voltmètres que l'on trouve dans les circuits électriques. D'un autre côté, un rapporteur est un instrument qui sert à mesurer les angles et qui relève de la géométrie. A première vue, il n'existe aucune relation entre ces deux instruments. Toutefois, des chercheurs du CNRC ont réussi à se servir d'un condensateur circulaire de leur création et appelé CIRCAP pour mesurer des angles avec une très grande précision.

Le Dr David Makow, de la section de photogrammétrie de la Division de physique du Conseil national de recherches du Canada, avait déjà mis au point un instrument permettant de mesurer des longueurs avec précision; il a eu l'idée d'extrapoler cet instrument appelé LINCAP à la mesure des angles. Le principe du LINCAP et du CIRCAP repose sur l'utilisation d'un condensateur spécial à compensation automatique et extrêmement stable.

Le type le plus simple de condensateur est fait de deux plaques parallèles et conductrices séparées l'une de l'autre par un isolant. Cet isolant peut être de l'air, le vide ou tout matériau isolant. Les deux électrodes, c'est-à-dire les plaques, se chargent si elles sont branchées sur un accumulateur ou à une pile; l'une devient positive et l'autre négative. Si l'on débranche les plaques et qu'on les relie par un fil de cuivre, les électrons passent de la plaque négative à la plaque positive jusqu'à ce que la décharge soit totale. Un condensateur placé dans un circuit à courant continu empêche le courant de passer puisque le matériau entre les plaques n'est pas conducteur. Il existe malgré tout un champ électrique d'une certaine intensité dans le matériau isolant. Si l'on travaille en courant alternatif, le condensateur se charge et se décharge à la même fréquence que celle du courant alternatif. (Le condensateur fait fonction de résistance dans le cas du courant continu et il y a une différence de potentiel entre ses bornes).

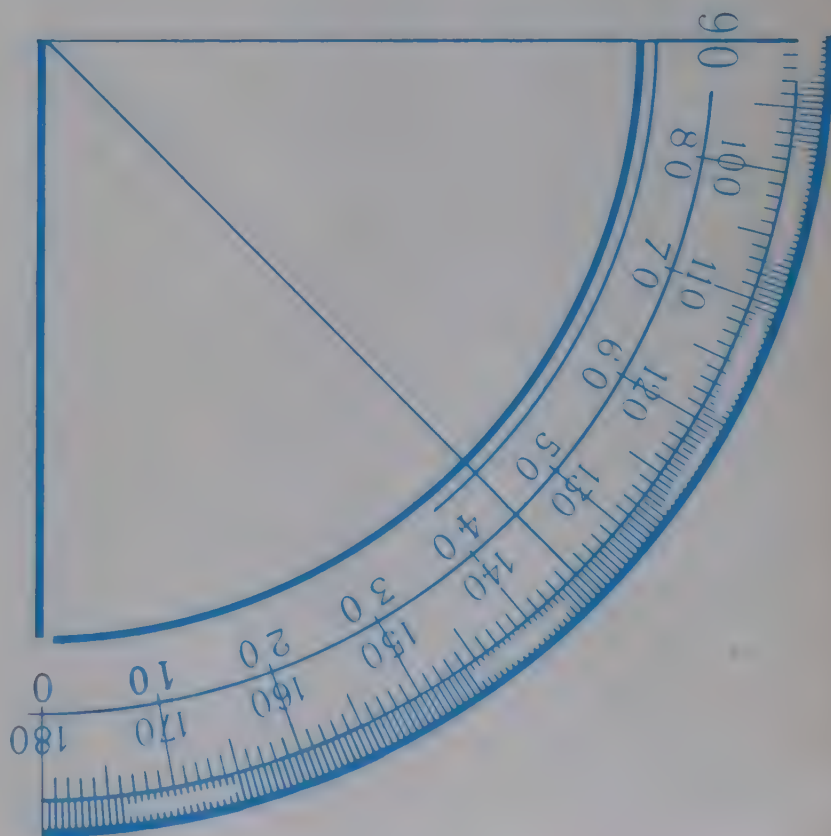
La capacité (C) d'un condensateur se mesure en unités de capacité et elle est fonction de la nature du matériau isolant, de la surface des plaques appelées aussi armatures et de la distance les séparant. Si l'on augmente la surface des armatures et que l'on diminue la distance, la capacité augmente; l'inverse est également vrai. La capacité d'un condensateur est stable si les dimensions le sont également. Si ces dimensions changent, même d'une très petite quantité, la capacité change également. C'est pourquoi tous les travaux visant à obtenir un étalon de capacité stable ont été centrés sur la recherche de dimensions stables. Tous les matériaux étant affectés jusqu'à un certain point par les variations de température, d'humidité et des contraintes internes, on n'a jamais pu obtenir des dimensions absolument stables.

Pour mesurer des angles avec précision et à l'aide d'un condensateur, le Dr Makow a donc dû trouver d'abord un condensateur de capacité très stable. Il y est parvenu en utilisant une configuration des électrodes pour laquelle la capacité est maintenue stable grâce à une compensation automatique liée aux variations des dimensions.

L'appareil consiste principalement en quatre tores ou anneaux circulaires, montés par paires et concentriques par rapport à un axe vertical (fig. 1). A l'origine, les tores étaient en quartz revêtu d'aluminium; on peut les faire également en métal revêtu d'or pour empêcher la corrosion. Les armatures du condensateur sont représentées par les tores opposés

diagonalement a et b ou c et d; autrement dit, la structure consiste en fait en deux condensateurs. A tout moment, une paire de tores opposés diagonalement forme le condensateur tandis que l'autre paire est mise à la masse pour éviter les interférences. Il suffit d'inverser le branchement pour que le rôle des tores soit aussi inversé. La capacité de la structure ne dépend pas seulement de la distance séparant les armatures opposées diagonalement mais aussi de la grandeur de l'ouverture permise pour qu'un tore "voit" l'autre.

"C'est cette configuration qui donne au système ses propriétés très spéciales d'autocompensation, nous a dit le Dr Makow, car, quoique ni l'un ni l'autre des condensateurs opposés diagonalement ne soit particulièrement constant, la valeur moyenne de la capacité, dans l'ensemble, demeure très stable et grandement indépendante des variations des dimensions. Supposons que le tore "C" de la figure 1 ait été usiné avec un diamètre légèrement plus petit que l'autre ou qu'il soit perturbé de quelque manière que ce soit et se déplace vers le haut; la capacité décroît donc dans cette paire puisque la distance de séparation a augmenté. Même dans le cas où cette variation se produit, l'ouverture grâce à laquelle les tores de l'autre paire peuvent se "voir" augmente et, de ce fait, la capacité augmente. Ainsi la diminution de la capacité de l'un des groupes est compensée par une augmentation de la capacité de l'autre et la capacité moyenne du système demeure presque inchangée. Un autre exemple important d'autocompensation se produit lorsque l'on décentre l'un ou l'autre des tores. Pour une moitié du tore décentré, la distance séparant cette moitié de l'autre tore opposé diagonalement augmente et l'inverse se produit pour l'autre moitié de sorte que le décentrage n'a pas grand effet. En fait, un changement de un millième des valeurs des variables



CIRCAP

Figure 1. Cut-away view of the new toroidal capacitor. D is the large diameter of the capacitor (for example 10 cm.) and d is the cross-sectional diameter (2.5 cm.) of each ring. The rings are spaced apart from each other by small gaps "s" (0.25 cm.). Figure 2. The structure of the four-ring capacitor used for angle measurement. Cross-section and top view. The angle α (subtended by the arc C_1) is derived from the ratio $C_2 / (C_1 + C_2)$. Figure 3. The alternating current bridge circuit of the Circap. The voltage drop across the unshielded portions of the two semi-circular capacitors is measured with the precision voltage divider. The ratio of the capacitances is then an accurate measure of the shield angle. Note that the shield position here re-

flects that shown in figure 2. • Fig. 1. Schéma en coupe des tores du nouveau condensateur. D: diamètre moyen du groupe de tores (10 cm par exemple); d: diamètre du cercle générateur des tores (2,5 cm); s: distance séparant les tores concentriques (0,25 cm). Fig. 2. Schéma du CIRCAP (profil et plan). L'angle au centre α correspondant à l'arc C_1 est tiré du rapport $C_2 / (C_1 + C_2)$. Fig. 3. Le montage en pont du CIRCAP grâce auquel on peut mesurer avec précision la différence de potentiel entre les parties "découvertes" des deux éléments semi-circulaires. Le rapport des capacités donne une valeur précise de l'angle au centre formé par l'écran. Ici, l'écran est dans la même position que dans la fig. 2.

Fig. 1

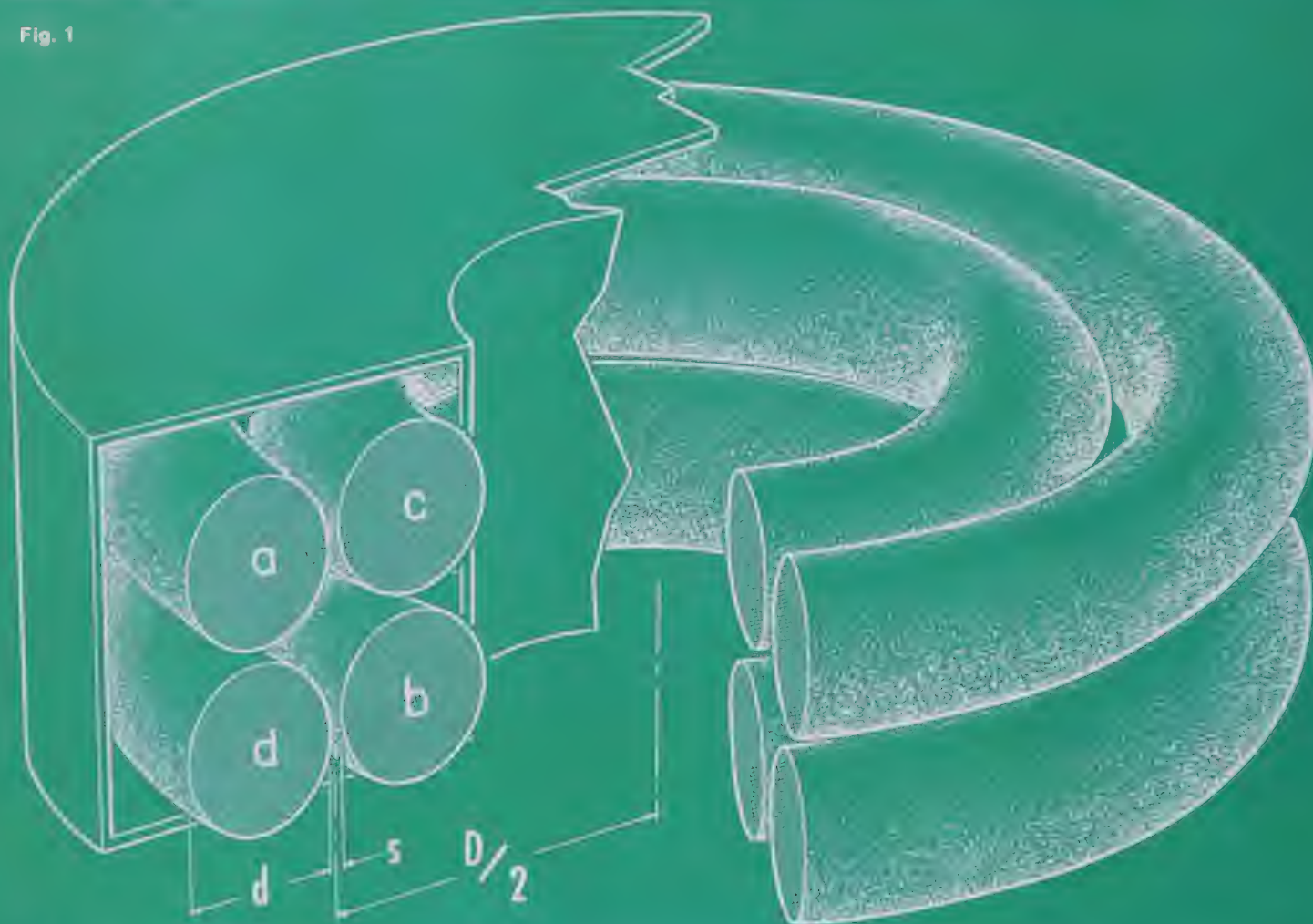
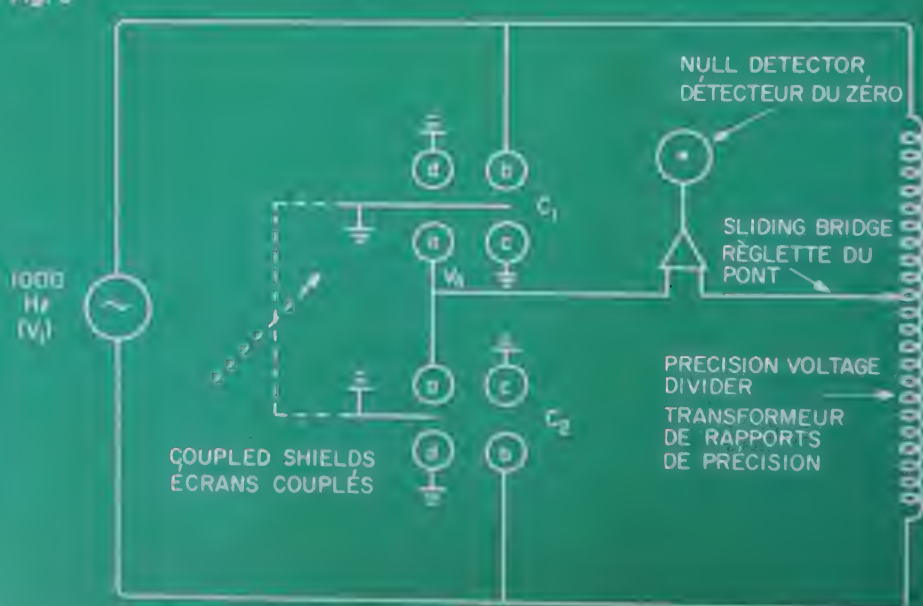


Fig. 2



Fig. 3



pouvant affecter la capacité ne donne qu'une variation de un millionième environ de cette capacité".

La phase suivante dans le développement du concept consistait à modifier le condensateur de telle manière qu'il puisse servir à mesurer des angles. On a donc ménagé des espaces isolants en coupant les tores à 0° et à 180° ce qui a eu pour effet de donner deux paires de condensateurs semi-circulaires (figure 2). Un écran isolant semi-circulaire a été placé entre les tores supérieurs et inférieurs et monté sur un roulement à air pour supprimer tout frottement. Sur la figure, le bord de cet écran forme un angle α avec le diamètre passant par le milieu des espaces séparant les armatures semi-circulaires. Cet écran étant mis à la masse la capacité de la portion de tore ouverte par lui est annulée. Seules les parties non couvertes par l'écran et indiquées par $C_1 = C \alpha$ et $C_2 = C(\pi - \alpha)$ peuvent jouer le rôle d'un condensateur (C est la capacité par unité d'angle).

Les deux capacités ont alors été placées en série dans un circuit à pont et à courant alternatif comme on peut le voir sur la figure 3. Un condensateur offrant une résistance à un courant alternatif, il y a une différence de potentiel entre les bornes de chacun des condensateurs. La loi d'Ohms permet de démontrer que le rapport des tensions V_0/V_i est égal au rapport des capacités $C_2/(C_1 + C_2)$, et est proportionnel à l'angle α . Pour mesurer un angle avec précision, il suffit donc de mesurer ce rapport ce qui est possible en utilisant un montage en pont.

Supposons que l'on fasse tourner l'écran ce qui donne une variation de C_1 et de C_2 et provoque le passage d'un courant dans le détecteur de zéro du pont (signal d'erreur). En faisant glisser la réglette du montage en pont on rétablit l'équilibre, c'est-à-dire que l'aiguille de l'indicateur de zéro retourne au zéro. On obtient donc le nouveau rapport des tensions et ainsi le nouvel angle formé par l'écran.

Le Dr Makow nous a dit: "L'avantage de la méthode se trouve dans le fait que l'on mesure un rapport pour déterminer un angle; ainsi on est beaucoup moins importuné par les variations de la tension à la source, de la température et de l'humidité puisque ces variations sont presque sans effet sur le rapport".

Des mesures d'angles très précises ont été faites en coopération avec le Dr George Chapman, de la section de mécanique de la Division de physique; on a trouvé que le CIRCAP a une précision d'environ 0.1 seconde d'arc ce qui représente $1/6\,500\,000$ du demi-cercle. Pour mieux "visualiser" ce que représente cette précision on peut considérer qu'elle correspond à celle que l'on obtiendrait en mesurant la distance séparant Ottawa de Montréal à plus ou moins la largeur de votre pouce près!

Le Dr Makow a continué: "Nous espérons faire encore mieux. La limite de la précision est déterminée par la combinaison de certains facteurs touchant notamment l'influence du champ autour des bords de l'écran, l'erreur aléatoire de concentricité des roulements à air et la précision du circuit à pont".

En dehors de son utilisation pour mesurer des angles, le CIRCAP peut également servir de dispositif de positionnement angulaire. On y parvient en reliant la sortie du détecteur de zéro à un servomoteur entraînant l'écran.

Le Dr Makow a ajouté: "Supposons que le "transformeur" de tension soit réglé selon un rapport différent du rapport d'équilibrage; il en résulte une déflexion de l'aiguille de

l'indicateur de zéro puisque le courant passe dans le pont. C'est ce courant qui commande le servomoteur qui, à son tour, fait tourner l'écran jusqu'à rétablissement de l'équilibre du pont. La nouvelle position de l'écran reflète ainsi la valeur affichée du rapport des tensions, c'est-à-dire la mesure de l'angle de l'écran".

Ainsi le CIRCAP sert à deux fins: il peut servir à mesurer des angles ou à positionner l'écran selon un angle choisi.

L'arc sous-tendu par les armatures n'étant que de 180° et des champs électriques perturbateurs se trouvant dans l'espace isolant, le CIRCAP ne peut mesurer que les angles inférieurs à 180° . Pour éviter cet inconvénient, on met deux CIRCAP l'un sur l'autre de sorte que les écrans semi-circulaires fassent un angle de 90° entre eux. En passant tout simplement de l'un à l'autre, lorsque l'un des écrans arrive dans la région de l'espace isolant, on peut faire des mesures précises jusqu'à 360° . Le Dr Makow a été aidé dans ces travaux par M. A. Zuidhof qui a construit les circuits à ponts et par M. M. Paulun qui a étudié les aspects mécaniques du système.

Le Dr Makow a continué: "Il y a bien des domaines scientifiques et techniques où l'on a besoin de faire des mesures précises d'angles et des réglages. Comme exemple, citons l'astronomie, la géodésie, la technologie spatiale et la mécanique de précision. Bien des instruments couramment utilisés de nos jours sont basés sur la lecture de graduations circulaires de précision, lecture qui est optique ou électronique". Un bon instrument dans cette catégorie ne peut toutefois donner une précision supérieure à une ou deux secondes d'arc.

Le Dr Blachut, chef de la section de photogrammétrie, nous a dit: "Le CIRCAP est un instrument unique en ce sens qu'il mesure des angles continûment sans avoir besoin de graduations sur un cercle. Les deux seules graduations que nous trouvons sont celles du zéro et du 180° degré et la droite qui les relie est le bord droit de l'écran".

Le CIRCAP peut être appliqué dans bien des domaines. Si un télescope est monté sur l'axe du CIRCAP, par exemple, on peut s'en servir comme théodolite de très haute précision pour faire des relevés en géodésie par satellites ou pour mesurer des angles entre les étoiles. En conjonction avec un laser le CIRCAP peut permettre de poursuivre des vaisseaux spatiaux. Il peut aussi servir dans l'industrie où des références angulaires de précision sont souhaitées pour étalonner les unités utilisées dans les usines de production en série. On n'a pas toujours besoin d'une aussi grande précision de sorte que l'on peut en construire de plus simples, de plus robustes et, de ce fait, de moins coûteux en vue d'une exploitation commerciale concurrentielle. Actuellement, la Société canadienne des brevets et d'exploitation limitée a accordé des licences à deux compagnies au Canada pour construire le CIRCAP; il s'agit de Rab-Dedesco, à Ottawa, et de Valeriot Electronics, à Guelph, dans l'Ontario.

L'importance d'un instrument comme CIRCAP dépasse le domaine de la détermination des angles. Toute réduction de l'incertitude lors de mesures, que ce soit d'angles, de distances, de temps ou de masse, donne une base plus solide pour accepter ou rejeter certaines idées scientifiques actuelles. Puisque les théories fondamentales des sciences doivent être vérifiées expérimentalement, elles seront acceptées d'autant plus facilement que l'on aura confiance dans les mesures. Finalement, ce sont sur ces mesures que reposent les théories à la base de l'idée que nous nous faisons de l'Univers.

one part per thousand ($1/1000$) results in a change of capacitance of approximately one part per million ($1/1,000,000$); the latter change is a thousand-fold smaller than the former."

The next step in the development of the concept was to modify the capacitor in such a way that its unique properties could be exploited to measure angle. Insulating gaps were cut across the toroids at the zero and 180 degree locations, creating two pairs of semi-circular capacitors as shown in Figure 2. A semi-circular shield was placed between the top and bottom tier of rings, rotating on frictionless air bearings about the central axis. (It is placed at an angle α from the shield's leading edge to the insulating gap in the Figure.) Because the shield is grounded, the capacitance of the ring portion that it covers is eliminated. Only those parts of the ring not covered by the shield, indicated by $C_1 = C\alpha$ and $C_2 = C(\pi - \alpha)$ can act as capacitors (C is the capacitance per unit angle).

The two capacitors were then placed in series in an alternating current bridge circuit, as shown in Figure 3. Because a capacitor offers resistance to an alternating current, there is a voltage drop across each of the capacitors. From Ohm's law it can be shown that the ratio of the voltages V_0 over V_i is equal to the ratio of the capacitances C_2 over $(C_1 + C_2)$, and that this is proportional to the angle α . Therefore this ratio of voltages is proportional to the angle. For a precise determination of angle, it is only necessary to measure this ratio by balancing the bridge for zero indication on the null detector with a precision voltage divider.

Suppose that the shield is moved, causing a change in the values of C_1 and C_2 . An error signal will then develop in the null detector because of the current passing through it. By moving the sliding contact of the voltage divider the bridge is balanced, bringing the null needle back to zero. The balanced bridge gives the voltage ratio, and thus the new angle of the shield.

"The advantage of the method is in the use of a ratio measurement to determine angle," says Dr. Makow. "This makes variations in supply voltages, temperature, and humidity of much less concern, since the effect almost cancels out in the ratio."

A series of very accurate angle measurements were made in cooperation with Dr. George Chapman of the Mechanics Section of NRC's Division of Physics, and the CIRCAP was found to have a standard deviation error of about 0.1 seconds of arc. This represents an accuracy of one part in 6.5 million and can be compared to measuring the distance between Ottawa and Montreal to within the thickness of the human thumb.

"With further refinements we hope to improve these results," says Dr. Makow. "The limits of accuracy are determined by a combination of factors related to such things as the effect of the field around the edges of the shield, the random error in the concentricity of the air bearings, and the accuracy of the bridge circuit."

In addition to its use in angular measurement, the CIRCAP can also be used as an angle positioning device. This is accomplished by connecting the output of the null detector to a servomotor that drives the shield.

"Suppose the voltage divider is set to a ratio different from that of the balance point. This causes a deflection in the null needle," says Dr. Makow, "as there will be a voltage

imbalance at the output of the detector. This voltage then drives the servomotor, which in turn moves the shield to a position where the imbalance voltage disappears. The new shield position thus reflects the setting of the ratio, which is a measure of the shield angle."

The CIRCAP thus has two uses. It can be used either to measure an angle by rotating the shield, or to position the shield at a given angle by dialing the desired ratio on the voltage divider.

Because the arc of the capacitors is only 180 degrees and there are electric field distortions at the insulating gaps, the CIRCAP can only measure angles smaller than 180 degrees. To circumvent this problem, one CIRCAP unit is positioned over another with the semicircular shields displaced 90 degrees from each other. By simply switching from one unit to the other as the shield approaches a gap region, accurate measurements can be made through 360 degrees of arc.

Dr. Makow was assisted in the CIRCAP project by two other staff members. Albert Zuidhof who worked on the development of the bridge circuits and by Manfred Paulun who did the mechanical design.

"There are many areas that require very accurate angular measurements and settings," says Dr. Makow. "Astronomy, geodesy, space technology, and precision mechanics are good examples. Many instruments currently in use are based on a precisely divided circle where the division marks are read either optically or electronically. A good instrument in this class is only accurate to within one or two seconds of arc."

"The CIRCAP is a unique instrument in the sense that it measures angle continuously without angular units needed to act as a 'yardstick'," says Dr. Theodore Blachut, Head of the Photogrammetric Research Section. "The only angle division used in the instrument is 180 degrees, being half a circle and defined by the straight edge of the shield going through the centre of the rings."

The CIRCAP has many practical uses. If a telescope is mounted on the central shaft, for example, it can be used as a theodolite for very precise surveys in satellite geodesy or to measure the angles between stars. In conjunction with a laser it can be used to track a spacecraft. The CIRCAP also can be used in industry where accurate angle references are needed to calibrate the units used in production. Because the high accuracy of the CIRCAP is not always needed, it can be built in a simpler, more rugged way with a possible cost advantage over the market competition. At present Canadian Patents and Development Limited (CPDL) has issued licenses to two companies in Canada to begin production of the CIRCAP model, Rab-Dedesco in Ottawa and Valeriot Electronics in Guelph, Ontario.

The importance of an instrument like CIRCAP goes beyond the effect it might have on the technology of angle determination. Any improvement in the accuracy of measurement, whether in angle or any of the other fundamental units, such as distance, time or mass, provides a sounder basis for accepting or rejecting current scientific ideas. Since the basic ideas of science rely on scientific experiment for their validation, their acceptance will be largely determined by the confidence in the measurements. Ultimately it is these measurements that underpin the web of theory binding our picture of the universe together. □ Wayne Campbell



Dr. David Makow (left) discusses the structure of the assembled CIRCAP with Manfred Paulen. • Le Dr. David Makow (à gauche) discute avec M. Manfred Paulen de la structure du CIRCAP.

The "CIRCAP" prototype with the 180° ring segments removed on one side. Note the centre shaft carrying the mounting platform and the two shields displaced by 90° from each other to permit measurement over a range of 360°. The prototype is actually two of the CIRCAP structures as represented in Figure 2, one placed over the other. • Vue du prototype du CIRCAP lorsque la moitié des lames est enlevée. On peut ainsi voir l'axe sur lequel sont montées les deux écrans décalés de 90° pour permettre les mesures jusqu'à 360° et la table de mesure. En fait, ce prototype est constitué de deux structures, illustrées fig. 2 et montées l'une sur l'autre.

Million dollar saving to industry— The science of tribology

A potential saving to Canadian industries of more than \$100 million a year forms the foundation of a little known science being pursued by an Associate Committee of the National Research Council of Canada. It is the science of tribology. Had one been confronted with that word six years ago, even the best dictionary would not have helped. The word was not listed.

Tribology is now defined as the "science and technology of interacting surfaces in relative motion and of related subjects and practices". The usual definition refers to tribology as the science of lubrication, friction, and wear. Its applications encompass almost every aspect of modern life. Its spectrum ranges from the mechanical operations of a chain saw to wear caused by pellets leaving a shotgun barrel. Even wear caused by friction between coins in one's pocket falls within the realm of tribology. Proper and specialized lubrication, the choice of materials for interacting surfaces and characteristics of their actual design and use summarize the theoretical applications.

The word "tribology" was coined in 1966 by British scientists who had spent some time investigating the matter of lubrication and the necessity for its diligent application in an ever-increasing technological world. In 1971, the Associate Committee on Lubrication (Tribology) of the National Research Council of Canada was formed. Its chairman is Dr. R.B. Whyte, Head of the Fuels and Lubricants Laboratory of NRC's Division of Mechanical Engineering. The Committee's 11 members include experts from government, universities and industry.

The objectives of the Associate Committee are: to develop a greater awareness of tribology, to foster more research into its finer applications and to make people, especially industrialists, receptive to its great importance. Results of the research must be presented to industry in an understandable form.

Dr. Whyte says Canadian industries are suffering "considerable" losses each year because of a generally inadequate standard of lubrication practice and the secondary importance that is usually placed on lubrication and anti-wear requirements in the design of machinery.

"Designers don't usually worry about the lubrication factor," says Dr. Whyte. "The aircraft engine industry has been forced to consider it, and the lubrication of modern cars is now being considered as part of the design.

"Machinery is being required to operate under more and more onerous conditions — higher loads, longer times between overhauls, higher temperatures and in some cases in Canada much lower outside temperatures. Unless tribological principles are adequately applied from the design stage through manufacture, assembly and use, our industrial development will be seriously hampered."

The annual cost of repairs to machinery and equipment used by industries in Canada in 1970 is estimated at \$3.05 billion. A high proportion of these repairs is necessitated by the failure of bearings or other rubbing or sliding components, and this means that important economy measures could be realized by upgrading the standard of lubrication practice.

A report on potential savings which could result by following good tribological practices was presented to the British government in 1966. It showed that an annual saving in that country of \$1.5 billion could be effected.

"In Canada," says Dr. Whyte, "it is estimated that at least \$100 million could be saved each year by increased awareness of good tribological practices in design and operation. To this



Sliding friction machine used by NRC's Division of Mechanical Engineering in studies to determine wear characteristics of a new coinage proposed for Canada by the Royal Canadian Mint. A coin is contained in the arm while another coin is placed on the lower rotating plate. They are brought into contact when the arm is lowered. Tests showed that the proposed coins were less resistant to wear than existing coinage. • L'appareil de mesure de l'usure des pièces de monnaie par frottement à la Division de génie mécanique. Une pièce de monnaie portée par le bras relevé est mise en contact avec une autre pièce placée sur le plateau tournant en dessous du bras. Les essais ont montré que les nouvelles pièces proposées s'useraient plus vite que celles en usage.

figure must be added savings due to reduced shut-down time, reduction in breakdowns as well as some reduction in energy consumption, bringing the total to several hundred millions of dollars each year. These benefits are obtainable without appreciable capital investment and without any inflationary effects."

Surveys of industry made by the Associate Committee have revealed that a general lack of awareness exists insofar as potential savings that the practice of tribology can provide.

"Industry is not always able to recognize and identify its problems and needs, because of a lack of awareness in the field of tribology," says Dr. Whyte. "Many causes of failure in machinery or defects in products could be removed or ameliorated either by improving lubrication practices or by small changes in design or materials."

The Committee has concluded that the standard of education at all levels is also inadequate. Its members have already recommended that more emphasis be placed on teaching the basics and applications of tribology in both universities and technical colleges.

Des millions de dollars d'économie

La tribologie



C'est la perspective de pouvoir faire économiser annuellement 100 millions de dollars à l'industrie canadienne qui a conduit un comité associé du Conseil national de recherches du Canada à se lancer dans l'étude d'un domaine à ce point "inconnu" que le mot qui le décrit, "tribologie", ne figure pas dans le dictionnaire où l'on trouve par contre "tribométrie", qui est définie comme étant la mesure des forces de frottement.

La tribologie est maintenant définie comme étant le "domaine scientifique et technique concernant des surfaces animées d'un mouvement relatif par rapport à d'autres et incluant des interactions entre ces surfaces ainsi que les corollaires et les conséquences pratiques qui en découlent". La définition la plus commune que l'on donne de la tribologie est: science des frottements, de l'usure et de la lubrification. Ses applications touchent presque tous les aspects de la vie moderne. Le spectre qu'elle couvre va du fonctionnement d'une scie mécanique à chaîne, à l'usure que les plombs occasionnent à un canon de fusil de chasse. Même l'usure causée par le frottement des pièces de monnaie dans une poche tombe dans le domaine de la tribologie. Une lubrification bien étudiée et spécialisée, le choix des matériaux dont sont faites les surfaces des pièces en contact, leurs caractéristiques et leurs utilisations constituent donc certains aspects "applications" de la tribologie.

Ce sont des scientifiques britanniques qui ont, en 1966, inventé le mot "tribologie" après avoir étudié pendant un certain temps les problèmes de lubrification et la nécessité de l'utiliser rationnellement dans un monde technologique en constante évolution. En 1971, le Comité associé de la lubrification (tribologie) du Conseil national de recherches du Canada a été constitué. Le président de ce comité associé est le Dr R.B. Whyte, chef de la Section des combustibles et des

lubrifiants de la Division de génie mécanique du CNRC. Il comprend onze membres dont des experts du gouvernement, des universités et des industries.

Les objectifs du comité associé sont de faire connaître la tribologie, d'encourager une recherche plus approfondie sur ses applications et de faire en sorte que tous les utilisateurs et notamment les industriels, réalisent sa grande importance.

Les résultats de la recherche doivent être présentés à l'industrie sous une forme compréhensible et le Dr Whyte souligne que l'industrie canadienne subit des pertes "considérables" chaque année parce que les normes de lubrification ne sont généralement pas appliquées à la lettre et que l'on n'accorde qu'une importance secondaire à la lubrification et à la prévention de l'usure au stade de la conception du matériel.

"Les ingénieurs des bureaux d'études n'accordent généralement que peu d'attention à la lubrification. Les fabricants de moteurs d'avions ont été obligés d'en tenir compte et c'est maintenant au stade du bureau d'études que l'on prévoit la lubrification des voitures modernes".

"Les machines doivent maintenant travailler dans des conditions de plus en plus sévères: charges et températures plus élevées, révisions moins fréquentes et, dans certains cas comme au Canada, des températures extérieures beaucoup plus basses. A défaut d'appliquer adéquatement les principes tribologiques du stade de l'étude à celui de la fabrication, de l'assemblage et de l'utilisation, notre développement industriel sera sérieusement entravé", nous a dit le Dr Whyte.

Le coût des réparations des machines et des équipements industriels canadiens a été estimé à 3,05 milliards de dollars pour 1970. La grande majorité de ces réparations résultent de pannes occasionnées par des roulements défectueux ou d'autres composantes travaillant en frottement ou en glissement et l'on peut donc espérer réaliser d'importantes économies en améliorant les normes de lubrification.

C'est ce qui ressort d'un rapport rendu public par le gouvernement britannique en 1966, estimant que les économies réalisables annuellement par la Grande-Bretagne pourraient atteindre 1,5 milliard de dollars.

"Au Canada, c'est au moins 100 millions de dollars que l'on économiserait si la tribologie était plus largement appliquée au stade de l'étude et de l'utilisation sans compter les économies, estimées à plusieurs centaines de millions de dollars par an, résultant de la réduction des pertes de temps dues aux arrêts de fonctionnement pour révision, aux pannes, ainsi que de la réduction de la consommation d'énergie. Ces résultats peuvent être obtenus sans investissements importants de capitaux et sans risque d'augmentation disproportionnée des frais", a poursuivi le Dr Whyte.

Des sondages faits auprès de l'industrie par le comité associé ont montré que les secteurs intéressés ne se rendaient généralement pas compte des économies réalisables par l'application des méthodes tribologiques.

"Dans le secteur industriel, de nombreuses pannes de machines, ou imperfections au stade de la production, pourraient être éliminées ou réduites en améliorant les méthodes de lubrification, en modifiant légèrement les matériaux ou en intervenant au stade de l'étude", a ajouté le Dr Whyte.

Le Comité a conclu que les programmes d'enseignement sont également inadéquats à tous les niveaux et il a recommandé que, dans les universités et les collèges techniques, l'on insiste plus particulièrement sur l'enseignement

Dr. Whyte has many examples of what research into the tribological aspects of machinery can provide. He cites a project carried out by the Naval Engineering Test Establishment at Lasalle, Quebec. Extensive studies were conducted on motor and pump bearing failures aboard a number of Canadian naval vessels. The bearings had an average life span of 500 hours before they had to be replaced. The actual selection of the replacement bearings was an important factor in the solution of the problem, as there were several alternatives. The re-fitting of the bearings was a precision operation; previously, the units had been force-fitted into place. Finally, research data revealed the need for a good multi-purpose grease to lubricate the bearings. As a result of this research project, the life of the bearings aboard the ships was increased from the average 500 hours to more than 13,000 hours — an extension in life of more than 25 times. The seemingly endless scope of tribology is appreciated in the light of such studies.

The matter of lubrication and general study of tribology also has been responsible for some major technological achievements in recent years. For example, the high-speed dentists' drill would have been a mechanical impossibility without the invention of a gas bearing which provides lubrication at speeds exceeding 20,000 revolutions per minute. Steam turbines are another device which would not have evolved without knowledge and research into their tribological aspects.

Among research projects undertaken by the NRC is one prompted by a request from the Royal Canadian Mint. The Mint was considering reducing costs for the production of new coinage by changing from 100 per cent nickel content for "silver" coins to a mixture of 25 per cent nickel and 75 per cent copper. But Mint officials were concerned about the possible wear factor of the proposed coins outweighing the initial economic saving.

A set of accelerated tests were conducted at NRC laboratories. The environment to which coins are subjected was simulated. Even perspiration conditions were taken into consideration, as when coins, dampened by a person's hand or body, rub together. The conclusion was that copper-nickel coins would wear by friction more quickly than pure nickel coins. To establish how much increase on wear could be expected and its consequent effects on cost would require longer evaluation under test conditions more similar to actual use. Further test work along these lines is being considered.

Another problem in tribology was that of lubricating the cutting bar and chain of a chain saw.

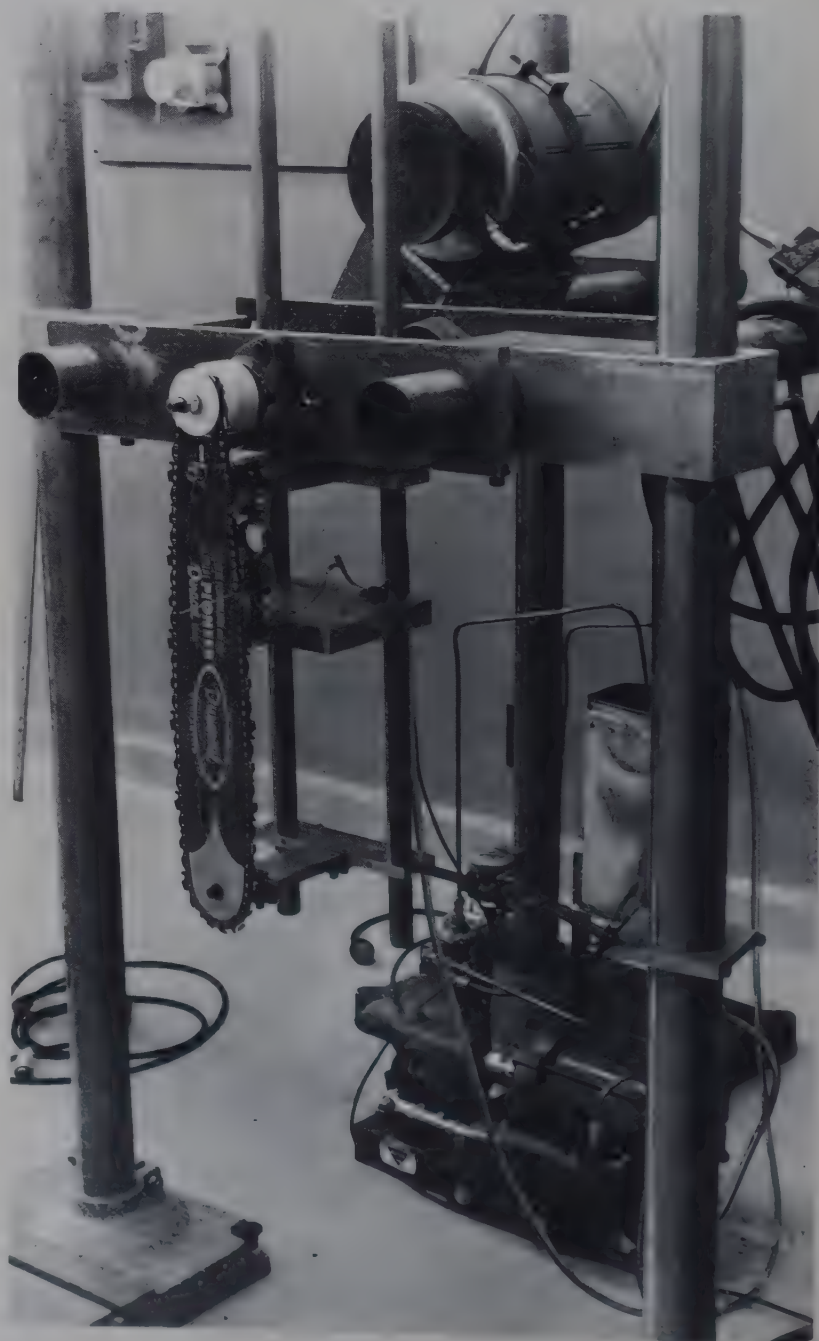
"The problem was that a heavy oil was needed to lubricate the actual sliding of the chain along the bar, but the chain itself needed a light oil to penetrate all moving parts," says Dr. Whyte.

Extensive laboratory work showed that a heavy oil diluted with a solvent, such as dry cleaning solvent, was the cheap solution to the problem. The solvent-oil mixture was thin enough to keep the chain well lubricated before it evaporated. The heavy oil which did not evaporate along with the solvent remained on the cutting bar. As dilution improves the oil flow, the mixture works in extreme cold.

Another problem which seems remote from the general understanding of lubrication was brought to NRC by the Canadian Wildlife Service. The government agency was concerned about the number of ducks dying of lead poisoning. Some ducks feed by scavenging the bottom of lakes and rivers. Lead pellets from hunters' shotgun shells were being ingested

by the ducks with their food and absorbed into their systems. The CWS was considering a soft iron substitute for the lead, but was concerned about the possibility of damage and excessive wear to shotgun barrels.

Research undertaken at NRC laboratories confirmed that the soft iron pellets produced excessive wear in the barrels. The choke (narrowing of the barrel's bore toward the end to ensure pellets leave the gun in a tight cluster) was destroyed by the experimental shot after limited use. Further investigation showed that a 75 per cent lead and 25 per cent iron pellet may be the solution to this problem. The pellet does not damage a gun barrel and there is some evidence that when it is submerged in water, it may rust and break down. The toxicological effects of the pellet, developed by the sciences of chemistry and tribology, are now under study at the University of Guelph. □ David Smithers



des lois fondamentales concernant la tribologie et sur leurs applications.

Les exemples mettant en relief l'importance de la tribologie sont très nombreux et le Dr Whyte cite notamment une étude exécutée par le Centre d'essais techniques de la marine, à Lasalle, dans le Québec, sur les causes de pannes de moteurs et de pompes dont les roulements avaient une endurance ne dépassant pas 500 heures.

Ce sont ces études qui ont mis en lumière les possibilités d'applications apparemment illimitées de la tribologie. Les stocks étant constitués de différents modèles de roulements, le choix du modèle de remplacement était un facteur important et sa mise en place, opération délicate, s'était trouvée compliquée du fait que les roulements précédents avaient été forcés. Finalement, le résultat des recherches a montré qu'il était nécessaire de disposer d'une bonne graisse multiservice pour lubrifier les roulements. Leur

Apparatus used by researchers in the Division of Mechanical Engineering to determine the best method of lubricating the cutting bar of a chain saw. The equipment simulates the stresses to which the bar is subjected under actual cutting operations. Tests showed that a mixture of heavy oil (to lubricate the sliding action of the chain on the bar) and a solvent (to lubricate the chain) caused the least amount of wear. • Banc d'essais des scies à chaîne à la Division de génie mécanique. Ce banc simule les conditions du sciage; il a permis de déterminer la meilleure méthode de lubrification, c'est-à-dire d'utiliser une huile épaisse additionnée d'un solvant, l'huile épaisse étant excellente pour le glissement de la chaîne sur la barre et l'huile diluée pénétrant bien dans les chaînons.



endurance est de ce fait passée de 500 à plus de 13 000 heures.

Les problèmes de lubrification et l'étude générale de la tribologie sont également à la base de quelques progrès majeurs accomplis au cours de ces dernières années. Disons, par exemple, que la fraise ultra-rapide du dentiste n'aurait pas vu le jour sans l'invention d'un roulement à gaz qui assure sa lubrification à des vitesses excédant 20 000 tours par minute. Les turbines à vapeur sont d'autres machines qui n'auraient pas pu être perfectionnées si l'on ne les avait pas étudiées du point de vue tribologique.

Un des programmes de recherches du CNRC a été entrepris à la suite d'une demande de la Monnaie royale canadienne qui souhaitait réduire les coûts de fabrication de nouvelles pièces de monnaie en faisant passer la composition de 100% de nickel des pièces "d'argent" à un mélange constitué de 25% de nickel et de 75% de cuivre. Cependant, les autorités responsables s'inquiétaient de l'usure possible des pièces envisagées qui aurait pu se traduire par une dépense supérieure à l'économie initiale réalisée.

Une série d'essais accélérés ont été faits dans les laboratoires du CNRC. On a simulé l'environnement auquel les pièces sont soumises; on a même tenu compte du facteur transpiration lorsque les pièces mouillées par la transpiration de la main ou du corps d'une personne frottent les unes contre les autres. Les résultats ont montré que les pièces à base de cuivre et de nickel s'useraient plus rapidement par frottement que les pièces de nickel pur. Pour déterminer quelle serait l'augmentation de l'usure et de ses conséquences sur les coûts il faudrait faire des essais plus poussés et plus proches des conditions réelles. C'est ce qu'on envisage de faire.

L'autre problème à résoudre était de lubrifier la barre de support et la chaîne d'une scie à chaîne.

"Le problème résidait dans le fait qu'il fallait une huile épaisse pour faciliter le glissement de la chaîne sur la barre alors qu'il fallait une huile très fluide pour lubrifier les chaînons", nous a dit le Dr Whyte.

De longues recherches en laboratoire ont montré qu'il suffisait de diluer de l'huile épaisse dans un solvant du type de ceux utilisés pour le nettoyage à sec car le solvant ne s'évaporerait pas avant d'avoir obtenu une bonne lubrification. En outre, la fluidité étant améliorée, le mélange convient aux très basses températures.

Un autre problème qui semble n'avoir que peu de rapport avec la lubrification a été soumis au CNRC par le Service canadien de la faune. Cet organisme gouvernemental s'inquiétait du nombre de canards empoisonnés par le plomb. Certains de ces canards se nourrissent en fouillant le fond des lacs et des rivières et ils ingèrent les grains de plomb provenant des cartouches des chasseurs. Le Service canadien de la faune envisageait de substituer le fer doux au plomb mais craignait que ce métal endommage et use exagérément les canons des fusils de chasse.

Des essais faits par le CNRC ont montré que c'est effectivement ce qui se produit, l'étranglement du canon ayant été détruit au cours des essais. D'autres recherches ont permis d'établir qu'un grain constitué de 75% de plomb et de 25% de fer pourrait convenir. Le grain n'endommage pas le canon et l'on a de bonnes raisons de penser qu'il rouille et se désagrége au bout d'un certain temps dans l'eau. Les effets toxicologiques du grain mis au point grâce aux recherches chimiques et tribologiques sont maintenant étudiés à l'Université de Guelph.

Harnessing plasmas for molybdenum extraction

When allied intelligence agents in the First World War overheard that the Germans were using molybdenum steels in the gun barrels of their "Big Bertha" howitzers, they felt they had stumbled on a goldmine. Acting on their reports, the United States moved quickly to develop sources of molybdenum and to find out what it did to iron and steel. It turned out that the intelligence reports had no basis in fact but this false information nevertheless served a very useful purpose. It provided the impetus for increased research on molybdenum. And it brought to light how useful this metal could be.

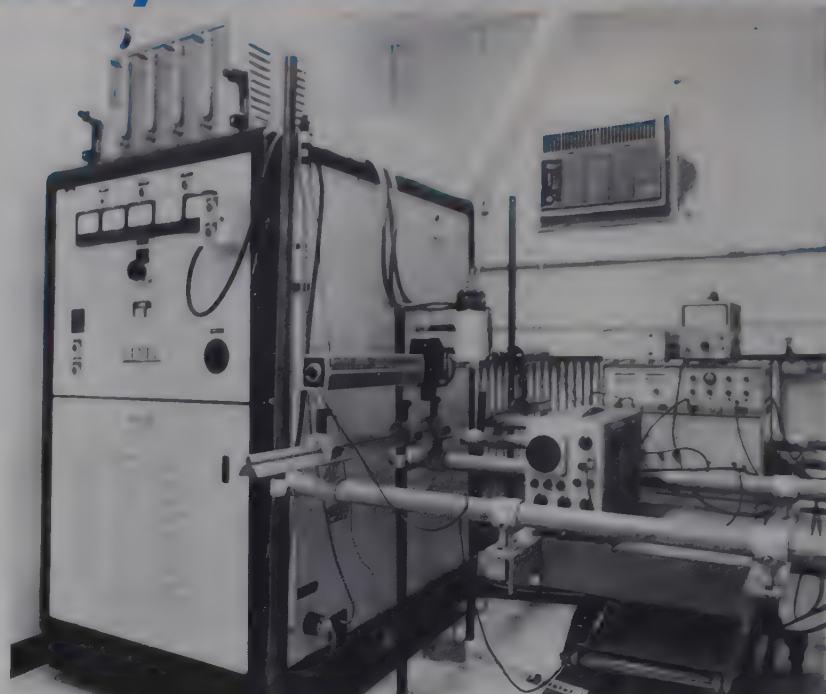
At present, molybdenum is principally used in the production of alloy steels. Molybdenum imparts considerable strength to steel, increases its resistance to corrosion and improves its strength at high temperatures. Steels with low concentrations of molybdenum are used for heat-treated machine parts and for tool steel. Higher concentrations of molybdenum are used for corrosion resistant stainless steels (four per cent) and for high-speed tool steel (up to 8.5 per cent). Molybdenum steel finds widespread use in the transportation and chemical processing industries.

Yet despite its usefulness not one pound of molybdenum metal is produced in Canada. For a variety of economic reasons, revolving mainly around market and tariff considerations, some 30 million pounds of molybdenum-bearing materials (along with much of Canada's wealth of mineral concentrates) were exported in 1970 alone to be processed by the importing country either to pure metal or to a stage suitable for steel making, such as molybdic oxide or ferro-molybdenum.

There is every indication, however, that Canada is becoming increasingly concerned about the continuing export of its mineral concentrates and that considerable efforts are being made to develop the expertise and the facilities necessary to up-grade the value of the metals potentially available from its abundant natural resources. To secure new markets, the necessary competitive edge can be obtained only if the best available technology of production is used or, even better, if a new and more efficient technology is developed in Canada. In the case of molybdenum, such a new technology has recently been proposed. Aided by a NRC Special Project grant, a team of researchers in the Chemical Engineering Department at McGill University is actively engaged in research that could lead to a new method for the direct production of molybdenum and several other high-cost metals from their concentrates.

The team is headed by Dr. W.H. Gauvin, Senior Research Associate in the Department of Chemical Engineering, and also Director of Research and Development, Noranda Mines Limited. In collaboration with the Noranda Research Centre, the McGill researchers have harnessed thermal plasmas (ordinary gases at extremely high temperatures, surpassing the surface temperature of the sun) to separate the metal from its ore in small, high-temperature reactors. This metal-producing process has several potentially attractive features: it is versatile; it could be time-saving and possibly more economical and it is non-polluting.

Molybdenum via the plasma route is obtained from molybdenite (MoS_2), a mineral so soft and "greasy" that it has long been confused with graphite (they have nearly identical physical properties). Small particles of molybdenite, in a concentrate obtained by flotation of the ore, are injected into the experimental reactor, a two-foot high glass cylinder, six inches in diameter. The upper portion, the "torch", contains the plasma fireball housed in a two-inch diameter gold-plated



McGILL UNIVERSITY

Laser doppler anemometer, first of its kind in Canada, for measuring velocity and turbulence of the plasma. • L'anémomètre à effet Doppler et à laser, unique au Canada, pour mesurer la vitesse et la turbulence du plasma.

quartz tube. In the plasma reactor the particles become so hot in contact with the plasma flame (circa 5,000 to 8,000 degrees Centigrade) that the molybdenite decomposes into metallic molybdenum and gaseous sulphur. The gaseous species then pass through a filter in the lower part of the reactor while the solids, including molybdenum metal remain on this filter and are thus recovered (the boiling point of sulphur is 445 degrees Centigrade and the melting point of molybdenum is 2600 degrees Centigrade). The sulphur vapor is subsequently cooled and condensed to give solid elemental sulphur.

Although of great promise for producing high-cost metals, thermal plasmas do not represent as attractive an alternative to conventional methods where base metals are involved. For example, the electrical energy needed to produce iron powder by the plasma method would alone cost about 1.5 cents per pound whereas the powder itself currently sells for around four cents per pound. Hence, for iron, profits would be negligible. But when a metal sells at over \$2.00 per pound, as does molybdenum, the plasma procedure becomes much more attractive.

Molybdenum's high cost is largely due to its small concentration in the ore and to the complexity of the conventional process of producing it. With present methods, the molybdenum sulphide concentrate is first roasted in huge multiple-hearth roasters from which sulphur dioxide is emitted in large quantities. The resultant impure oxide is treated with ammonia and converted to ammonium molybdate which is roasted once more to produce pure molybdenum oxide. A two-stage reduction with hydrogen is then needed to obtain the molybdenum metal.

In 1962, Dr. Gauvin became interested in the possibility of effecting the separation of desired metal products from their natural mineral compounds by passing small solid particles of these minerals through the intense heat of a plasma flame. But this method was beset with difficulties. One stumbling block was that only a few milliseconds of contact time with the hot gases are available to heat up the particle to the reaction temperature and to bring about its conversion into the desired product. Another was that plasma devices and

Les plasmas et le molybdène



Les officiers de renseignements qui, au cours de la Première Guerre mondiale, ont appris que les Allemands se servaient d'acier au molybdène pour faire la culasse de leur "grosse Bertha", ont eu l'impression qu'il s'agissait là d'un renseignement très intéressant. Très vite, les Américains se sont donc mis à chercher du molybdène et à étudier l'influence de ce métal sur le fer et l'acier. Quoique l'on ait trouvé par la suite que ce renseignement était faux, les recherches sur le molybdène ont quand même donné des résultats très utiles.

Actuellement, le molybdène sert principalement dans la fabrication des aciers dont il augmente considérablement la résistance mécanique, la résistance à la corrosion et la tenue aux températures élevées. Les aciers à faible teneur de molybdène servent à faire des pièces de machines traitées à chaud et des aciers pour la fabrication des outils. Si la teneur ne dépasse pas 4%, on obtient des aciers inoxydables résistant bien à la corrosion et si cette teneur ne dépasse pas 8.5%, on obtient des aciers pour outils travaillant à grande vitesse. Les aciers au molybdène sont très utilisés dans les transports et les industries chimiques.

Bien que le molybdène soit très utile, on n'en produit pas même une livre sous forme métallique au Canada. Pour de nombreuses raisons économiques touchant principalement les marchés et les droits de douane, quelque trente millions de livres de minerais contenant du molybdène, ainsi que de nombreux autres minerais marchands ont été exportés en 1970 et traités par les pays importateurs qui en ont tiré le métal pur ou s'en sont servi pour faire des aciers en partant de l'oxyde molybdique ou du ferromolybdène.

Il apparaît toutefois que le Canada s'inquiète de plus en plus de cette exportation de minerais marchands et c'est pourquoi on cherche à acquérir la compétence et les installations nécessaires pour tirer un meilleur parti des minerais de métaux que l'on trouve en grande quantité dans le pays. On ne peut avoir accès à de nouveaux marchés que si la meilleure technologie de production est utilisée ou, ce qui est encore mieux, si une nouvelle technologie encore plus efficace est mise au point au Canada. Dans le cas du molybdène, on a justement proposé récemment une nouvelle technologie. A l'aide d'une subvention du CNRC pour projet spécial, des chercheurs du Département de génie chimique, à l'Université McGill, étudient une nouvelle méthode de production directe du molybdène et de quelques autres métaux fort coûteux en partant des minerais marchands.

Cette équipe de chercheurs est dirigée par le Dr W.H. Gauvin, Associé "sénior" de recherches au Département de génie chimique et également Directeur de la recherche et du développement à la compagnie Noranda Mines Limited. En collaboration avec le Centre de recherches de la compagnie Noranda, les chercheurs de McGill ont réussi à maîtriser des plasmas, c'est-à-dire des gaz à des températures extrêmement élevées dépassant celle de la surface du soleil et à s'en servir pour séparer le métal de sa gangue. Ce procédé de production du métal dans de petits réacteurs à haute température présente plusieurs points potentiellement intéressants: il est souple d'emploi, pourrait être rapide et plus économique que les autres et il évite toute pollution.

Ce procédé à base de plasma utilise au départ la molybdénite (MoS_2), matériau si mou et si "gras" qu'il a été longtemps confondu avec le graphite dont les propriétés physiques sont presque identiques. De petites particules de molybdénite, dans une solution concentrée obtenue en faisant flotter le minerai, sont introduites dans le petit réacteur expérimental constitué d'un cylindre de verre de deux pieds de hauteur et de six pouces de diamètre. La partie supérieure, appelée "torche", contient le dispositif donnant le plasma de 5 000 à 8 000 °C logé dans un tube de quartz plaqué à l'or et de deux pouces de diamètre. Dans le réacteur, les particules de molybdénite chauffées par le plasma se décomposent en molybdène pur et en soufre à l'état gazeux. Le mélange gazeux sortant en bas du réacteur passe à travers un filtre qui retient les solides de sorte qu'on récupère facilement le molybdène métallique (la température d'ébullition du soufre est de 445°C et celle de fusion du molybdène est de 2 600°C). Le soufre solide est récupéré par la suite par condensation.

Quoique ce procédé d'obtention du molybdène et des métaux de coût élevé semble intéressant, il ne l'est pas autant qu'il le paraîtrait quand on le compare aux méthodes traditionnelles car l'énergie électrique nécessaire pour produire de la poudre de fer par la méthode des plasmas coûterait environ 1.5 cent la livre alors que la poudre obtenue par les moyens habituels se vend 4 cents environ la livre. Ainsi dans le cas du fer, les avantages seraient négligeables mais, lorsqu'il s'agit d'un métal qui se vend deux dollars la livre, comme c'est le cas du molybdène, l'obtention de ce métal par la méthode du plasma devient beaucoup plus intéressante.

Le coût élevé du molybdène est largement dû au fait que les minéraux en contiennent assez peu et que le procédé traditionnel pour l'obtenir est assez complexe. En effet, habituellement, le sulfure de molybdène est d'abord grillé pour donner un oxyde avec dégagement de gaz sulfureux en grande quantité; l'oxyde est ensuite traité à l'ammoniaque pour obtenir un molybdate d'ammonium qui est à son tour grillé pour obtenir l'oxyde de molybdène pur lequel est réduit à l'hydrogène en deux étapes pour donner le molybdène lui-même.

En 1962, le Dr Gauvin s'est intéressé à la séparation du molybdène en partant de petites particules du minerai soumises à la chaleur intense d'un plasma. Mais les difficultés n'ont pas manqué! L'une d'elles se trouvait dans le fait que les particules ne se trouvaient en contact avec les gaz surchauffés que durant quelques millisecondes ce qui empêchait d'atteindre la température de la réaction donnant directement le molybdène. Un autre obstacle se trouvait dans le fait que les équipements à plasma et les instruments connexes étaient très coûteux. Mais la difficulté la plus grande était que l'on ne savait pas grand-chose sur les aspects fondamentaux du

their supporting instrumentation were very expensive. But the biggest obstacle of all was that virtually nothing was known about the fundamental aspects of the system (flow patterns, particle trajectories, heat transfer). Without this knowledge, design of the system was impossible.

Since 1962 Dr. Gauvin and his colleagues have systematically attacked each of the basic problems, on the way developing new techniques to probe and measure the characteristics of the inferno with which they were dealing.

"Our systematic approach was born of necessity," says Dr. Gauvin, "since plasma technology in the metallurgical field has progressed rather slowly. Until recently, very little was known about the most basic characteristics of such a system. This is because most of the work in the past has been too empirical or, if theoretical, has dealt with a single aspect of the problem. It was impossible for us to predict how a plasma reactor should be designed for a particular application.

"This plus the complexity of the problem indicated the use of the systems approach. We formed several teams and began to study all factors affecting reactor design. There was no shortage of problems. What would the feed rate of particles into the reactor have to be? What are the velocity and flow patterns of the plasma? How will the particle move in the plasma jet? What is the distribution of temperature in the reactor? What are the characteristics of the transfer of heat from the hot gases to the particles? What is the reaction mechanism and the rate of reaction? The answers taken as a whole should permit the design of a large-scale plasma reactor for treating molybdenum sulphide.

"In fact, modelling studies enabling us to predict the behavior of this particular system by means of computations have now been completed and on the basis of these studies, a small reactor has been built. It will be used to study multi-particle systems under continuous conditions."

For these studies, a new method to measure plasma velocity and turbulence characteristics is being developed under the direction of Dr. J.R. Grace, a member of the Plasma Technology Group. Called a laser doppler anemometer, the instrument is based on the shift in frequency of the light scattered from the laser beam as it passes through the small particles in the plasma. This frequency shift ("Doppler shift") is proportional to the velocity of the gas. The laser doppler anemometer is the first of its kind in Canada and was obtained with the help of the NRC grant.

Another member of the Group, Dr. Roland Clift of the Chemical Engineering Department (in addition to his interest in the fundamental aspects of plasma flow patterns and particle motion) has begun investigations aimed at developing a process for the production of titanium carbide which is used for arc-melting electrodes and as an additive in making cutting tools. Titanium carbide currently costs about \$4.00 a pound. Dr. Clift's research in this area reflects the Plasma Technology Group's interest in utilizing high temperature processes not only to separate metals from their ores but also to form metal compounds under the resultant high temperature conditions. These compounds — oxides, silicides, nitrides, carbides — could have interesting new properties such as heightened resistance to corrosion or increased effectiveness as semi-conductors.

"The Noranda Research Centre will be conducting development work on the plasma reactor and its use in metal extraction," says Dr. Gauvin. "It is expected that a pilot plant



McGILL UNIVERSITY

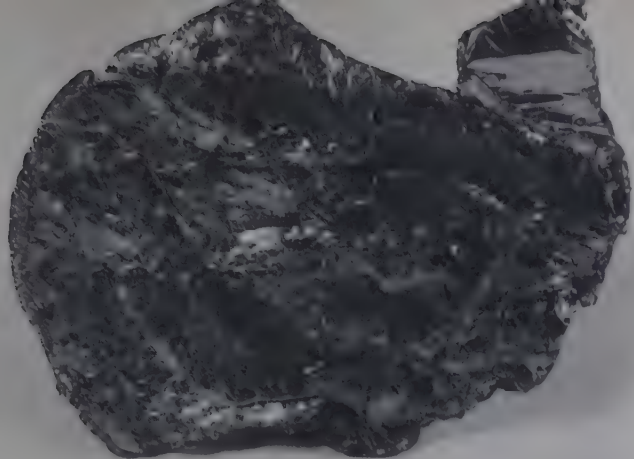
Plasma torch in operation • Le four à plasma.

will be installed at the Centre shortly. On the other hand, McGill University will continue to do all the fundamental work on this project.

"We still need more accurate data on heat transfer to particles and on the characteristics in particulate systems. Better information is also required on the plasma flow patterns and their turbulence characteristics, while our model of the system must be constantly refined. On the experimental side, we are attempting to develop and optimize feeding techniques and techniques for separating the vaporized sulphur more effectively, and we are experimenting with other gases besides the argon we now use in the plasma reactor."

The Plasma Group will shortly extend its studies of the application of plasma technology to other metals besides molybdenum, such as tungsten, columbium, tantalum and titanium. In parallel with this, research into new industrial applications for molybdenum is continuing. Besides being an excellent alloying element in steel production, it may form useful alloys with other metals. Salts of molybdenum make excellent high-intensity pigments for the paint industry. They give magnificent oranges, reds and yellows with high covering power. In addition, a white non-toxic corrosion-inhibiting pigment based on zinc molybdate is now available as a replacement for lead-based paints. If molybdenum production costs were reduced, this metal could become quite competitive with nickel in some of the latter's applications.

"The Plasma Technology Group at McGill has existed for a little over two years," points out Dr. Gauvin, "but it has already demonstrated that collaboration between industry and university, when intelligently conducted between people with strong mutual interests, can bring about fairly quick results in areas of economic and social significance to the country, with a relatively modest financial input from the government. The rewards for both sides are great: for the university researcher the intellectual reward of having contributed very significantly to the fundamental knowledge of the basic phenomena underlying a new and exciting high-technology frontier, and for industry, the possibility of establishing brand-new secondary industries which will upgrade the values derived from natural resources." □ Earl Maser



système, c'est-à-dire sur les configurations des écoulements, les trajectoires des particules, le transfert de chaleur, etc. et que, sans avoir des connaissances précises en ces domaines, on ne pouvait réussir.

Depuis 1962, le Dr Gauvin et ses collègues se sont donc attaqués systématiquement à chacun de ces problèmes fondamentaux et, en cours de route, ils ont mis au point de nouvelles techniques de mesure des caractéristiques de ce four extraordinairement chaud.

Le Dr Gauvin nous a dit: "Si nous avons attaqué le problème systématiquement, c'est parce que c'était nécessaire; en effet, la technologie des plasmas en métallurgie n'a progressé que lentement. Jusqu'à ces derniers temps, on ne savait pas grand'chose des caractéristiques les plus fondamentales de ces systèmes. Ceci était dû au fait que la plupart des travaux qui ont été faits étaient trop empiriques et, lorsqu'il s'agissait de théorie, n'ont traité que d'un seul aspect du problème. Nous ne savions pas comment calculer un réacteur à plasma pour une application particulière".

"Ceci, ajouté à la complexité du problème, nous a incité à procéder comme on le fait dans le cas de systèmes. Nous avons constitué plusieurs équipes et chacune d'elles a commencé à étudier les facteurs affectant la conception du réacteur. On n'a pas manqué de problèmes! Quel devait être le débit-masse des particules à l'entrée? Quelles devaient être la vitesse et la configuration de l'écoulement du plasma? Quelles seraient les trajectoires des particules dans le jet de plasma? Quelle serait la répartition des températures dans le réacteur? Quelles devaient être les caractéristiques de transfert de chaleur? Quels seraient le mécanisme et les vitesses des réactions? L'ensemble des réponses nous permettrait alors de calculer un grand réacteur à plasma pour traiter le sulfure de molybdène".

"En fait, on s'est servi de modèles mathématiques pour prévoir le comportement de ce système particulier et, aujourd'hui, un petit réacteur prototype a été construit. On s'en servira pour étudier les systèmes multiparticulaires en régime continu".

Pour ces études, une nouvelle méthode de mesure de la vitesse du plasma et des caractéristiques de la turbulence est en cours de développement sous la direction du Dr J.R. Grace, membre du Groupe de la technologie des plasmas. L'instrument utilisé est un anémomètre dont le fonctionnement est basé sur le changement de fréquence de la lumière d'un laser par effet Doppler-Fizeau lorsque le faisceau lumineux passe à travers le nuage de particules dans le plasma. Le changement de fréquence est proportionnel à la vitesse du gaz. Cet anémomètre est le premier de son genre au Canada et il a été construit grâce à l'aide fournie par une subvention du CNRC.

Un autre membre du groupe, le Dr Roland Clift, du Département de génie chimique et s'intéressant également aux configurations des écoulements dans les plasmas et aux mouvements des particules, a commencé des études visant à mettre au point un procédé de production du carbure de titane servant à fabriquer des électrodes pour le soudage à l'arc et

des outils de coupe. Le carbure de titane coûte actuellement 4 dollars la livre environ. Les recherches du Dr Clift, en ce domaine, rejoignent celles du Groupe de la technologie des plasmas sur l'utilisation de procédés à températures élevées non pas seulement pour séparer les métaux de leur gangue mais aussi pour former des composés métalliques. Ces composés, comme les oxydes, les siliciures, les nitrures et les carbures pourraient avoir des propriétés nouvelles et intéressantes comme une plus grande résistance à la corrosion ou une meilleure efficacité comme semi-conducteurs.

Le Dr Gauvin nous a dit également: "Le Centre de recherches de Noranda va essayer de perfectionner le réacteur à plasma en vue d'extraire des métaux. On pense qu'une usine pilote sera installée à ce Centre très bientôt. D'un autre côté, l'Université McGill continuera à faire des recherches fondamentales en ce domaine".

"Nous avons toujours besoin de renseignements plus précis sur le transfert de chaleur entre le plasma et les particules et sur les caractéristiques du nuage de particules. Même chose pour les configurations de l'écoulement et les caractéristiques de la turbulence; autrement dit, notre modèle du système doit être de plus en plus proche de la réalité. Côté expérimental, nous essayons de mettre au point et d'optimiser des techniques d'alimentation en particules et des techniques permettant de séparer le soufre gazeux plus efficacement; nous faisons aussi des expériences avec d'autres gaz en dehors de l'argon que nous utilisons maintenant dans le réacteur à plasma".

Le Groupe des plasmas étendra bientôt ses études à l'application de la technologie des plasmas à d'autres métaux comme le tungstène, le columbium, le tantale et le titane. Parallèlement, les recherches continuent sur les applications industrielles nouvelles du molybdène. Outre le fait que le molybdène constitue un élément excellent lors de la fabrication des aciers, il peut être également utile pour faire d'autres alliages. Les sels de molybdène donnent un pigment excellent et de grande intensité dans les peintures. On obtient aussi des oranges, des rouges et des jaunes magnifiques permettant de couvrir de plus grandes surfaces avec la même quantité de peinture. En outre, un pigment blanc non toxique et inhibant la corrosion, basé sur le molybdate de zinc, peut s'acheter maintenant au lieu des peintures à base de plomb. Si le coût du molybdène peut diminuer, ce métal pourrait devenir tout à fait concurrentiel par rapport au nickel pour certaines des applications de ce dernier.

Pour terminer, le Dr Gauvin nous a dit: "Le groupe de la technologie des plasmas, à McGill, a été créé il y a un peu plus de deux ans et il a déjà démontré qu'il peut très bien collaborer avec l'industrie lorsque cette collaboration est conduite intelligemment entre des personnes s'intéressant au même domaine; une telle coopération peut donner des résultats assez rapides dans des domaines importants sur les plans économiques et sociaux au Canada et tout en ne bénéficiant que d'une aide financière relativement modeste du gouvernement. Les avantages donnés aux partenaires sont grands: les chercheurs universitaires ont une certaine satisfaction intellectuelle d'avoir contribué d'une manière significative à augmenter nos connaissances fondamentales sur des phénomènes de base dans un domaine nouveau et passionnant de la technologie de pointe et les ingénieurs industriels sont satisfaits en pensant qu'il sera possible de lancer de nouvelles industries secondaires permettant de mieux exploiter nos ressources naturelles".

Boon to Canadian papermakers— New opacity standards



Work conducted in the Division of Physics of the National Research Council of Canada towards the formulation of Canadian standards for paper opacity has proved to be of prime importance to paper manufacturers, printers, draftsmen and artists.

Opacity is closely related to paper's translucency. It is a quality which indicates how strongly words written or printed on one side of a piece of paper will be seen on the other. For example, tissue paper has a very low opacity, while newsprint and fine bond paper are of rather high opacity. Newsprint, which is printed on both sides, must possess high opacity since it must be hard to see through. Since no Canadian standards for the measurement of opacity have existed in the past, the Canadian paper industry has been forced to use those of other countries.

An instrument which has long been used for measuring opacity is the Elrepho electric reflectance photometer. It was believed that this instrument was accurate for measuring the opacity only of white or near-white paper, and that opacity measurements on colored paper were not feasible.

H.W. Budde of NRC's Division of Physics, is the only non-industrial member of the Optical Properties Subcommittee of the Physical and Chemical Standards Committee, Canadian Pulp and Paper Association which is now writing a standard for the measurement of opacity. He did not believe that opacity measurements on colored paper were impossible.

The Subcommittee had encountered problems when the matter of standardizing opacity measurements was considered. In most countries, opacity measurements were applicable only to white or near-white paper; little was then known about opacity of colored papers. So Mr. Budde undertook to find out.

His first difficulty consisted in finding suitable materials. Although some papermakers furnished samples of colored products, the colors tended to be soft, pastel shades and were of little use in extending the horizon of opacity measurements. He then obtained a set of brightly-colored tissue paper. Measurements on these sheets eventually were instrumental in the formulation of Canadian standards for opacity measurements and in the future will affect international standards.

These papers were of extremely low opacity which, coupled with the bright colors, indicated under normal test conditions that limits had been reached beyond which opacity measurements seemed to deteriorate. The brightly-colored set of papers was bordering the limit and provided the necessary data that colored papers of higher opacity and less bright colors could in fact be measured. Mr. Budde concluded that the restriction of opacity measurements to white and near-white paper was unnecessary.

"Within certain wide limits, opacity measurements on colored papers are quite feasible," he says.

The Elrepho instrument which played such an important role in this study is far from uncommon. Other instruments are also commercially available which can be used for opacity measurements. Hundreds are in use across Canada, helping both manufacturers of pulp and paper and consumers such as newspaper publishers and large printing firms. But the full capabilities of the Elrepho instrument were not known.

Mr. Budde's investigation was based on the comparison of opacity measurements in the Elrepho with those made in a recording spectrophotometer, which usually gives more accurate opacity values. The spectrophotometric process however is slow and too time-consuming to be feasible for an

Pour les fabricants de papier:

Nouvelles normes d'opacité

Des travaux de la Division de physique du Conseil national de recherches du Canada exécutés dans le but de formuler des normes canadiennes de l'opacité des papiers ont pris une importance primordiale pour les fabricants de papier, les imprimeurs, les dessinateurs industriels et les artistes.

L'opacité est étroitement liée à la translucidité du papier en fonction de laquelle des mots écrits ou imprimés sur l'une des faces apparaissent plus ou moins distinctement sur l'autre face. Nous pouvons citer comme exemple le papier à démaquiller dont l'opacité est très faible alors que le papier journal et le papier utilisé pour la correspondance commerciale ont une opacité plutôt élevée. Le papier journal, utilisé recto et verso, doit avoir une opacité élevée pour que l'on puisse difficilement voir à travers. Étant donné qu'il n'existait jusqu'alors aucune norme canadienne pour mesurer l'opacité du papier, l'industrie papetière canadienne s'est vue obligée de se servir de celles utilisées par d'autres pays.

Un instrument dont on se sert depuis longtemps pour mesurer l'opacité est l'électrophotomètre de réflectance "Elrepho". Tout le monde pensait que cet instrument n'était précis que pour mesurer l'opacité du papier blanc ou presque blanc et qu'il n'était pas possible de s'en servir pour mesurer l'opacité du papier de couleur.

M. H.W. Budde, de la Division de physique, est le seul membre non industriel du sous-comité des propriétés optiques du comité des normes physiques et chimiques de la "Canadian Pulp and Paper Association"; il prépare actuellement des normes de mesure de l'opacité. Il n'a jamais pensé qu'il était impossible de mesurer l'opacité de papiers colorés.

Le sous-comité a eu des difficultés dès qu'il s'est agi d'uniformiser les mesures d'opacité. Dans la plupart des pays on avait l'habitude de mesurer uniquement l'opacité du papier blanc ou presque blanc et l'on ne savait alors que très peu de choses sur l'opacité des papiers de couleur et c'est ce qui a conduit M. Budde à faire son étude.

Sa première difficulté a été de trouver des échantillons remplissant les conditions voulues. Bien que certains fabricants de papier lui en aient fourni, ces échantillons étaient généralement constitués de papier pastel ce qui les rendaient pratiquement impropres aux expériences. Il a enfin pu se procurer du papier aux couleurs vives et ce sont les mesures faites sur ces feuilles de papier qui ont conduit à l'établissement des normes canadiennes et qui conduiront peut-être à modifier les normes internationales.

Le fait que l'opacité de ces papiers était extrêmement faible et leurs couleurs vives indiquait que, dans les conditions



opacity standards

industrial testing laboratory.

The Elrepho measures opacity by determination of two reflectance values. The actual process of testing each sample takes less than 30 seconds. A sample of paper is first placed on a jet-black background and the reflectance value is recorded. Then the sample is placed on a white background and that reflectance value is recorded. The reflectance of the sample with the black background is usually smaller than that with the white backing. The actual opacity value is determined simply by dividing the reflectance obtained with the black backing by that obtained with the white backing.

Comparative measurements on a large number of samples, including the strongly-colored tissue papers resulted in the conclusion that accurate opacity measurements can be made with the Elrepho on colored papers of a wide variety. The majority of tissue papers studied by Mr. Budde are outside

H.W. Budde takes opacity measurements from samples of paper using the Elrepho electric reflectance photometer. • M. H.W. Budde mesure l'opacité d'échantillons à l'aide du photomètre à réflectance "Elrepho".



Brightly-colored papers were essential for work on opacity standards for paper conducted in NRC's Division of Physics. The illustration demonstrates the meaning of opacity; a thin sheet of tissue paper at top is of very low opacity, with the black background clearly showing through. With increasing thicknesses of tissue paper, the opacity increases until the background cannot be seen, at bottom. • Grâce à ces papiers aux couleurs éclatantes on a pu déterminer les normes d'opacité. Pour mieux comprendre ce que l'on entend par opacité, nous avons placé une feuille mince de papier jaune sur fond noir (en haut), puis plusieurs épaisseurs de ce même papier en allant vers le bas. Résultat: le fond noir très visible (en haut) finit par devenir invisible (en bas).

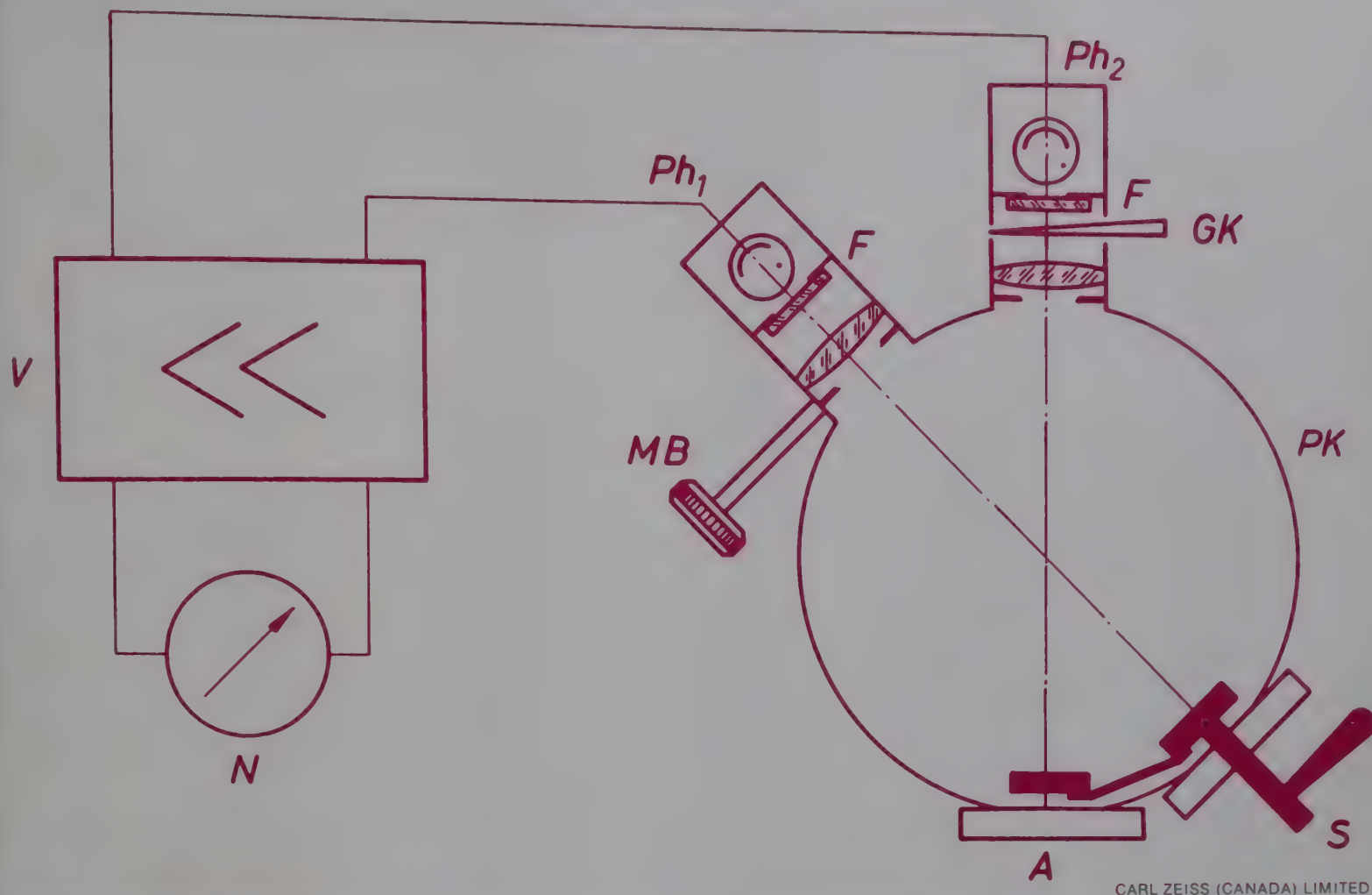
these limits. From these measurements, the limits of the feasibility of opacity measurements were determined.

"We looked into opacity measurements," says Mr. Budde, "because the Canadian paper industry needed a useful and reasonable standard for opacity measurements and there were some weak points that needed clarification. The job is now finished and the results have been incorporated into the CPPA standard 'Opacity of Paper'."

Because of his research into the various optical properties of paper (brightness, reflectance, opacity), Mr. Budde was recently named chairman of a Working Group on Optical Properties of Paper, Board and Pulp of the International Standards Organization. He is the first Canadian named to such a position within the ISO Technical Committee on paper, board and pulp.

At the first meeting of the working group, NRC was asked to undertake international exchanges of reflectance standards so that, within the ISO member countries, reflectance measurements would be in close agreement. Mr. Budde is now working toward this end. □ David Smithers





CARL ZEISS (CANADA) LIMITED

Measuring principle of the Elrepho: Ph₁, photocell; Ph₂, photocell; F, filter; GK, neutral wedge; S, swing-in standard; A, sample, MB, measuring diaphragm; N, balancing instrument; PK, photometer sphere; V, amplifier. • Schéma du "Elrepho"; Ph₁: cellule photo-

électrique; Ph₂: cellule photoélectrique; F: filtre; GK: couteau de compensation; S: étalon mobile; A: échantillon; MB: diaphragme de mesure; N: indicateur de zéro; PK: sphère du photomètre; V: amplificateur.

normales d'essais, l'on avait atteint la limite au-delà de laquelle les mesures d'opacité semblaient perdre de leur précision. On avait donc approché la limite des mesures avec ce papier mais on avait pu obtenir les données indispensables montrant que des papiers ayant une opacité plus élevée et des couleurs moins vives pouvaient en fait être mesurés et c'est ce qui a amené M. Budde à conclure qu'il n'y avait pas lieu de limiter les mesures d'opacité au papier blanc ou presque blanc.

"Bien qu'il y ait des limites, toutefois assez larges, il est tout à fait possible de mesurer l'opacité de papiers de couleur," dit-il.

L'Elrepho, qui a joué un rôle si important dans cette étude, n'est pas un instrument rare; il existe en effet d'autres instruments dans le commerce pouvant être utilisés pour des mesures d'opacité. Plusieurs centaines sont utilisés dans tout le Canada par les fabricants de pâte à papier, les journaux et les grandes imprimeries mais, n'étant pas connues, les possibilités de l'Elrepho n'étaient pas exploitées comme elles auraient pu l'être.

M. Budde a basé ses travaux sur la comparaison des mesures d'opacité obtenues avec l'Elrepho et celles obtenues avec un spectrophotomètre enregistreur qui donne ordinairement des valeurs d'opacité plus précises. Cependant, le procédé faisant appel au spectrophotomètre est trop long et trop laborieux pour être utilisé par un laboratoire industriel.

L'Elrepho mesure l'opacité en déterminant deux valeurs de réflectance. Il faut moins de 30 secondes pour mesurer la valeur de réflectance d'un échantillon de papier qui a été préalablement placé sur un support noir foncé. On effectue ensuite une seconde mesure après l'avoir placé sur un support blanc. La réflectance de l'échantillon placé sur un support noir

est plus faible que celle obtenue sur un support blanc. L'opacité réelle est estimée sous la forme du rapport de la réflectance obtenue avec le support noir à la réflectance obtenue avec le support blanc.

Des mesures comparatives sur un grand nombre d'échantillons comprenant des papiers très colorés du type à démaquiller ont conduit à la conclusion qu'il est possible de mesurer avec précision l'opacité d'une large gamme de papiers de couleur avec l'Elrepho. La plupart des papiers étudiés par M. Budde se situe hors de ces limites. C'est grâce à ces travaux que l'on a pu déterminer la gamme des mesures possibles.

M. Budde nous a dit: "Nous avons étudié les mesures d'opacité parce que l'industrie canadienne avait besoin d'une norme utile et acceptable et qu'il fallait éclaircir certains points. Notre mission est accomplie et les résultats ont été incorporés aux normes d'opacité du papier de la CPAA".

En raison de ses recherches sur les diverses propriétés optiques des papiers (brillance, réflectance, opacité), M. Budde a été nommé récemment président d'un groupe de travail sur les propriétés optiques des papiers, des cartons et des pulpes de l'Organisation internationale de normalisation (ISO). C'est le premier Canadien qui occupe ce poste au sein du comité technique de l'ISO sur les papiers, les cartons et les pâtes.

Lors de la première réunion du groupe de travail, on a demandé au CNRC d'entreprendre des échanges internationaux pour que, au sein des pays membres de l'ISO, les normes relatives aux mesures de réflectance soient identiques.

C'est ce à quoi M. Budde emploie maintenant tous ses efforts.

Four hour work in four seconds—

Flying Spot Scanner/Analyser



For years, agricultural and forestry experts have endeavored to obtain adequate insect control using a minimum amount of pesticide. However, in order to evaluate the effectiveness of a particular pesticide or dispersal system, the entomologist must know how much of the pesticide dispersed actually reaches the target area and how evenly it is distributed. In the past, to find answers to these questions has been extremely laborious and costly and accurate answers have been almost impossible to obtain.

The traditional technique for obtaining spray deposits and distribution patterns has been to place collecting surfaces such as white cards or glass plates in the target area prior to spraying. After the area was sprayed, these sample cards or plates were collected and at a later date were examined under a microscope. Each four-by-five-inch card might have received as many as 400 to 500 droplets and to count and size these required two to four man-hours. To read a sufficient number of cards for an accurate evaluation of the spray deposit on a large area was a staggering task.

In 1968, the National Research Council of Canada's Associate Committee on Agriculture and Forestry Aviation asked NRC's National Aeronautical Establishment to assist in developing techniques and equipment to adequately control and evaluate spray distribution. The first stage of this program was to develop a practical means of evaluating spray deposits. After three years of development, the program has produced the NAE Flying Spot Scanner / Analyser. The "analyser" portion of this facility consists of a general purpose mini-computer and various input/output devices. The "scanner" portion consists of a flying spot optical scanner which was

NAE Harvard equipped with an external spray system is used for experimental spraying. • L'avion "Harvard" de l'ÉAN équipé de son dispositif de pulvérisation aérienne, en vol au cours d'essais d'épandage.

designed and built by Megadata Corporation of New York to meet the NAE requirements.

The principle of flying spot scanning is not new, but it is due only to recent technological developments that its potential can be utilized fully in a scanner / analyser. The heart of the scanner is a very short persistence high resolution cathode ray tube. The electron beam of this CRT generates a very small light beam which is programmed to trace a 1024 - line raster (the pattern of lines which can scan the fluorescent screen of a cathode ray tube) on a 35 millimetre photographic negative of a spray card. The size of the "beam" of light which scans the film is about 18 microns (less than one thousandth of an inch) in diameter. As the scanner scans the film line by line it senses each time the light beam crosses the boundary of a droplet and transfers to the analyser's memory the X and Y coordinates of each crossing. It requires four seconds to scan a frame and transfer the "digitized image" to the analyser's memory.

Since the analyser is a general purpose computer, programs can be written to perform specific types of analysis. A typical spray droplet analysis program will reconstruct each droplet and check its shape; measure its area; calculate the original droplet volume; sort the droplets into various size classes; and determine the mass median diameter for the sample.

4 heures de travail en 4 secondes! Le pulvérisomètre automatique

Pendant des années, les experts en agriculture et en sylviculture ont essayé de se débarrasser des insectes en se servant d'un minimum d'insecticide. Toutefois, afin d'évaluer l'efficacité d'un insecticide donné ou d'un système d'épandage, les entomologistes doivent savoir quel est le pourcentage de l'insecticide ayant atteint son but et en connaître la répartition. Par le passé, on utilisait une méthode lente et coûteuse et il était pratiquement impossible d'obtenir des mesures précises.

La technique traditionnelle pour obtenir des échantillons de pulvérisation et connaître la répartition des gouttelettes consiste à disposer des plaquettes d'échantillonnage, en carton blanc ou en verre, dans la zone visée et à examiner ces échantillons au microscope après l'épandage aérien. Chacune des plaquettes rectangulaires de quatre par cinq pouces peut comporter jusqu'à 400 ou 500 gouttelettes et il faut de deux à quatre heures pour les compter et pour en déterminer les dimensions. On comprend donc qu'il faut un temps considérable pour dépouiller ainsi un nombre suffisant de cartes si l'on veut avoir des résultats précis.

En 1968, le Comité associé de l'aviation agricole et forestière du Conseil national de recherches du Canada a demandé à l'Établissement aéronautique national de l'aider à mettre au point des techniques et des équipements permettant

d'évaluer rapidement les épandages et de les améliorer. La première étape du programme consistait à mettre au point une méthode pratique et rapide de comptage des gouttelettes. Après trois années de travail, l'Établissement aéronautique national a mis au point son pulvérisomètre automatique (en anglais: le "Flying Spot Scanner / Analyser"). Ce pulvérisomètre automatique comporte un mini-ordinateur d'utilisation générale et quelques accessoires servant au comptage. Le balayage des plaquettes pour le comptage se fait à l'aide d'un balayeur optique à faisceau cathodique qui a été conçu et construit par la "Megadata Corporation", de New York, selon des paramètres définis par l'Établissement aéronautique national.

Le principe du balayage n'est pas nouveau mais c'est en raison de développements technologiques récents que son potentiel a pu être utilisé entièrement. Le lecteur à balayage consiste en un tube cathodique à haute résolution et à très courte persistance du "spot". Le faisceau électronique de ce tube est très étroit et il balaye un écran de 1024 lignes dans le cas d'un négatif photographique de 35 millimètres représentant une plaquette. Le faisceau de lumière a environ 18 microns de diamètre, c'est-à-dire moins d'un millième de pouce. En balayant l'écran, le faisceau traverse les gouttelettes et donne un signal à chaque interface entre une gouttelette et le milieu extérieur ce qui permet d'obtenir les coordonnées X et Y de ces interfaces. Ces coordonnées sont transmises à l'ordinateur

Jim Beverage, Chemical Control Research Institute, Department of the Environment, places sample cards in a forested area prior to aerial spraying. • M. Jim Beverage, de l'Institut de recherche en répression chimique du Ministère de l'environnement, met en place des plaquettes d'échantillonnage dans une zone boisée à traiter.

Mrs. Sawatsky operating the NAE flying spot scanner / analyser. • Mme Sawatsky au pupitre de commande du pulvérisomètre automatique.





W.E. (Ted) Slack who is in charge of the operation of this facility for NAE's Flight Research Laboratory anticipates that the Scanner / Analyser is destined to do many things other than analysing samples from spray operations.

"The Scanner / Analyser is capable of analysing well in excess of 1,000 frames per day and it is unlikely that forestry and agricultural researchers will require more than a small portion of this capability. Since the Scanner / Analyser is inherently capable of performing mensuration analysis on any sample which can be reproduced as a two-dimensional density distribution on 35 millimetre film, it is expected that it will be utilized in many areas of research other than spray technology. For example," says Mr. Slack, "it may be utilized to count and size voids in concrete samples for NRC's Division of Building Research; meteorologists have queried the possibility of automatically analysing radar pictures of storm clouds; and there would also appear to be many areas in medical, biological and metallurgical research where the Scanner / Analyser would be a useful tool."

Utilization of the Scanner / Analyser is gathering momentum. In 1973, NAE analysed aerial spray samples supplied from several sources as well as samples for an internal research project on the break-up of fluids on spinning discs being conducted by Dr. A.M. Drummond. H.N.C. Lyster, the flight research expert on data handling and analytical methods is writing a program to process samples for the Engine and Low Temperature Laboratories of NRC's Division of Mechanical Engineering.

Mrs. E. Sawatzky, who is a full time scanner-analyser operator points out that the versatility of this instrument is almost directly proportional to the number of analysis programs

A.M. Drummond examines the flow of dyed oil over a laboratory spinning disc atomizer. • M. A.M. Drummond examine l'écoulement d'une huile colorée sur un pulvérisateur à disque tournant.

available and that the accuracy of the Scanner / Analyser is directly related to the accuracy with which the configurations to be analysed can be reproduced on photographic film.

"Since we are measuring configurations which are barely visible to the eye, a considerable portion of my time to date has been devoted to experimenting with various microphotography techniques," she says.

NAE expects that in 1974 the Scanner / Analyser will be used as an analytical tool in many diverse research projects. It is expected that many spray operators will use the Scanner / Analyser as a cheap, accurate and convenient replacement for the manual method of analysing spray sample cards.

Mr. Slack believes that in the fields of forestry and agricultural spraying the Scanner / Analyser can be used to increase the effectiveness of any particular operation.

"Because of the time required to manually read spray sample cards, they are customarily used to confirm the success or failure of a particular operation. Using the Scanner / Analyser, it is possible to have a complete quantitative analysis of spray deposits 24 hours after the operation has been conducted. This would give the operator the opportunity to respray any areas which were inadequately covered. In other words," says Mr. Slack, "I believe that the Scanner / Analyser has potential as an 'on line' device to control spray operations rather than merely as an instrument to confirm the results of an operation." □ Arthur Mantell

Le pulvérisomètre automatique

qui les met en mémoire. Il faut quatre secondes pour balayer une image et transférer les coordonnées.

Puisque l'ordinateur est d'utilisation générale, les programmes peuvent être établis pour des types donnés d'analyse. Un programme type permet de vérifier la forme de chaque gouttelette, de mesurer sa surface, de calculer son volume à l'origine, de calculer aussi la répartition des gouttelettes selon leurs dimensions et de déterminer le diamètre moyen de la masse accumulée sur l'échantillon.

M. W.E. Slack, responsable de cet appareil au laboratoire de recherches en vol de l'Établissement aéronautique national, pense que ce pulvérisomètre automatique est destiné à servir dans bien d'autres domaines que celui des échantillonnages de pulvérisations aériennes.

Il nous a dit: "Ce pulvérisomètre peut analyser plus de mille images par jour et il est peu probable que les chercheurs des domaines agricoles et forestiers aient besoin d'un instrument aussi puissant. Puisqu'il peut, en principe, traiter les échantillons à répartition bidimensionnelle sur un film de 35 millimètres, on pense qu'il pourra servir dans de nombreux domaines de la recherche en dehors de la technique des épandages aériens. Il pourrait servir, par exemple, à compter les vides dans des échantillons de béton et à mesurer leurs dimensions ce qui serait utile pour les chercheurs de la Division des recherches en bâtiment du CNRC; il pourrait servir aussi aux météorologistes qui cherchent à analyser automatiquement les images des nuages d'orages sur les écrans des radars; il existe aussi de nombreux domaines dans les recherches métallurgiques, biologiques et médicales où cet appareil pourrait être fort utile".

De plus en plus on se sert du pulvérisomètre automatique. En 1973, l'ÉAN a analysé des échantillons d'épandages aériens provenant de plusieurs sources et aussi des échantil-

Ted Slack checks a flat spray jet type nozzle in the NAE spray tunnel.

• **M. Ted Slack examine une tuyère de pulvérisation en jet plat dans la soufflerie de pulvérisation de l'ÉAN.**

lons touchant un projet de recherches interne sur la rupture en gouttelettes d'un fluide placé sur des disques en rotation, étude conduite par le Dr A.M. Drummond. M. H.N.C. Lyster, expert en méthodes d'analyse et traitement des données liées à la recherche en vol, établit un programme pour traiter des échantillons des laboratoires des basses températures et des moteurs de la Division de génie mécanique du CNRC.

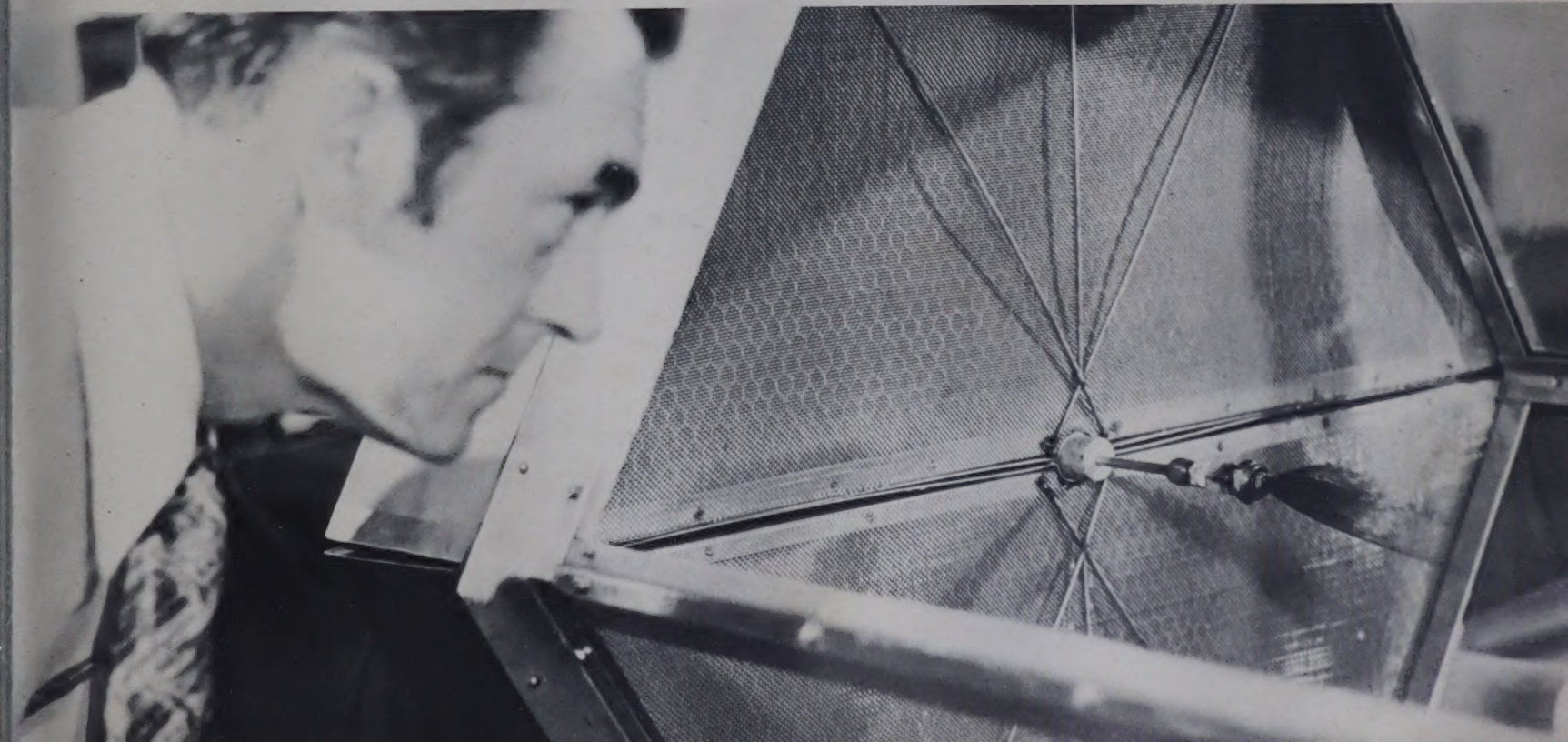
Mme E. Sawatzky, qui se sert constamment de ce pulvérisomètre, a fait remarquer que sa versatilité est presque directement proportionnelle au nombre de programmes dont on dispose et que sa précision est liée directement à celle de la reproduction photographique des plaquettes.

Elle nous a dit: "Puisque nous mesurons des configurations qui sont tout juste visibles à l'oeil nu, j'ai consacré beaucoup de temps jusqu'à ce jour à faire des expériences de micro-photographie".

A l'ÉAN, on s'attend à ce que le pulvérisomètre automatique puisse constituer en 1974 un outil utile dans bien des domaines de la recherche. On s'attend aussi à ce que de nombreuses personnes procédant à des pulvérisations s'en servent comme nouveau moyen précis et peu coûteux de comptage et d'évaluation.

M. Slack pense que cet appareil peut permettre d'améliorer grandement l'efficacité de toute opération particulière d'épandage agricole et forestier.

Il nous a dit: "En raison du temps nécessaire pour lire les plaquettes d'échantillonnage par les moyens traditionnels, ces cartes ne servent habituellement qu'à confirmer la réussite ou l'échec d'une opération particulière. A l'aide du pulvérisomètre automatique, il est possible d'avoir une analyse quantitative complète des gouttelettes 24 heures après l'opération. Ainsi, on peut procéder à une deuxième pulvérisation au cas où la première n'aurait pas été particulièrement réussie. En d'autres mots, je pense que notre appareil a un grand potentiel en tant que dispositif courant de contrôle des épandages; il n'est pas simplement un instrument confirmant la réussite ou l'échec d'une opération".



Cover: Giant radio telescope at the National Research Council of Canada's Algonquin Radio Observatory in Algonquin Park, 120 miles northwest of Ottawa, ranks among the most powerful and versatile in the world. Its 150-foot diameter parabolic reflector is capable of receiving the faintest of radio emissions from stars, gas clouds and other objects in space thousands of millions of light years away from earth. Photograph by Grant Crabtree, NRC. • Notre couverture: le grand radiotélescope du CNRC dans le Parc Algonquin, à 120 miles au nord-ouest d'Ottawa, est l'un des plus puissants du monde et des plus souples d'emploi. Les émissions les plus faibles provenant d'étoiles, de nuages de gaz ou d'autres sources situées à des milliers de millions d'années de lumière sont reçues grâce à son antenne de 150 pieds de diamètre. (Photo de Grant Crabtree, CNRC).

